

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE NANCY

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE NANCY

POUR OBTENIR

LE DIPLOME DE DOCTEUR-INGÉNIEUR

PAR

Jean DÉPAGNE

PREMIÈRE THÈSE

Étude hydrogéologique dans la région d'Idini,
en vue de l'alimentation en eau de Nouakchott
(République Islamique de Mauritanie)

DEUXIÈME THÈSE

Propositions données par la Faculté

Soutenues publiquement le 16 décembre 1965 devant la Commission d'examen

Jury : MM. M. ROUBAULT Président
J. AUROUZE Rapporteur
G. CASTANY Examineur (invité)

1967

PUBLIÉ DANS LES MÉMOIRES DU BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE NANCY

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE NANCY

POUR OBTENIR

LE DIPLOME DE DOCTEUR-INGÉNIEUR

PAR

Jean DÉPAGNE

PREMIÈRE THÈSE

Étude hydrogéologique dans la région d'Idini,
en vue de l'alimentation en eau de Nouakchott
(République Islamique de Mauritanie)

DEUXIÈME THÈSE

Propositions données par la Faculté

Soutenues publiquement le 16 décembre 1965 devant la Commission d'examen

Jury : MM. M. ROUBAULT Président
J. AUROUZE Rapporteur
G. CASTANY Examineur (invité)

1967

PUBLIÉ DANS LES MÉMOIRES DU BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES

Doyen

M. AUBRY

Assesseur

M. GAY

Doyens honoraires

MM. CORNUDERT, DELSARTE, URION, ROUSAULT

Professeurs honoraires

MM. CROZE, RAYBAUD, LAFFITTE, LERAY, JULY, LAPORTE, EICHHORN, GODEMENT, DUBREUIL, L. SCHWARTZ, DIEUDONNE, DE MALLEMANN, LONGCHAMON, LETORT, DODE, GAUTHIER, GOUDET, ULMER, CORNUBERT, CHAPELLE, GUERIN, WAHL.

Maîtres de conférences honoraires

MM. LIENHART, PIERRET

Professeurs

MM. URION	Chimie biologique	MM. GAYET	Physiologie
DELSARTE	Analyse supérieure	MALAPRADE	Chimie
ROUBAULT	Géologie	HADNI	Physique
CAPELLE	Mécanique rationnelle	BONVALET	Mécanique appliquée
VELLET	Biologie animale	MANGENOT	Botanique
BARRIOL	Chimie théorique	KERN	Minéralogie
BIZETTE	Physique	BASTICK	Chimie
GULLIEN	Electronique	DUCHAUFOR	Pédologie
GIBERT	Chimie physique	NEEL	Chimie Org. industrielle
LEGRAS	Mécanique rationnelle	GARNIER	Agronomie
BOLFA	Minéralogie	WEPPE	Minéralogie appliquée
NICLAUSE	Chimie	BERNARD	Géologie appliquée
FAIVRE	Physique appliquée	CHAMPIER	Physique
AUBRY	Chimie minérale	REGNIER	Physico-chimie
DUVAL	Chimie	GAY	Chimie biologique
COPPENS	Radiogéologie	WERNER	Botanique
FRUHLING	Physique	CONDE	Zoologie
SUHNER	Physique expérimentale	STEPHAN	Zoologie
HILLY	Géologie	EYMARD	Calcul différentiel et Int.
LE GOFF	Génie chimique	LEVISALLES	Chimie organique
CHAPON	Chimie biologique	Mme HERVE	Méthodes math. de la phys.
HEROLD	Chimie miné. industrielle	M. GOSSE	Mécanique physique
SCHWARTZ B	Exploitation minière		

Maîtres de Conférences

MM. ROCCI	Géologie
VUILLAUME	Psychophysiologie
Mme BASTICK	Chimie M. P. C. (Epinal)
MM. GUEDFIN	Physique
HORN	Physique propédeutique
FRENTZ	Biologie animale
AUROUZE	Géologie
MARI	Chimie (I. S. I. N.)
LAFON	Physique (I. S. I. N.)
FELDEN	Physique théorique et nucléaire
FLECHON	Physique M. P. C.
VIGNES	Métallurgie
Mlle HUET	Mathématiques S. P. C. N.
MM. DEVIOT	Physique du solide
BLAZY	Minéralogie appliquée (E. N. S. G.)
BALESDENT	Thermodynamique chimie appliquée
JANOT	Physique M. P. C. (Epinal)
JACQUIN	Pédologie et chimie agricole
CACHAN	Entomologie appliquée (E. N. S. A.)
MARTIN	Chimie M. P. C.
MAINARD	Physique M. G. P.
N...	Probabilités et statistiques
N...	Mécanique (I. S. I. N.)
N...	Mathématiques
N...	Mécanique expérimentale
N...	Génie chimique
N...	Mathématiques M. P. C.
N...	Mathématiques S. P. C. N.
N...	Mécanique des fluides (I. S. I. N.)
N...	Mathématiques appliquées
N...	Physiologie animale

SOMMAIRE

	Pages
Avant-Propos	5
Introduction	7
Historique des études effectuées sur la nappe d'Idini	11
Les méthodes utilisées	17
Nomenclature et caractéristiques des ouvrages	21
La coupe stratigraphique dans la région d'Idini	25
L'eau dans les terrains antérieurs au Continental Terminal	29
L'eau dans les formations du Continental Terminal	31
Les caractéristiques géométriques de l'Aquifère sub-phréatique	35
Les caractéristiques hydrauliques de l'Aquifère sub-phréatique	41
La forme de la nappe sub-phréatique	49
Les caractéristiques chimiques de la nappe sub-phréatique	53
Le problème du front salé	61
Les réserves de la nappe d'Idini	67
L'alimentation de la nappe d'Idini	69
Conclusions générales	71
Bibliographie	73
Table des figures	75
Table des matières	77



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41555810_0018

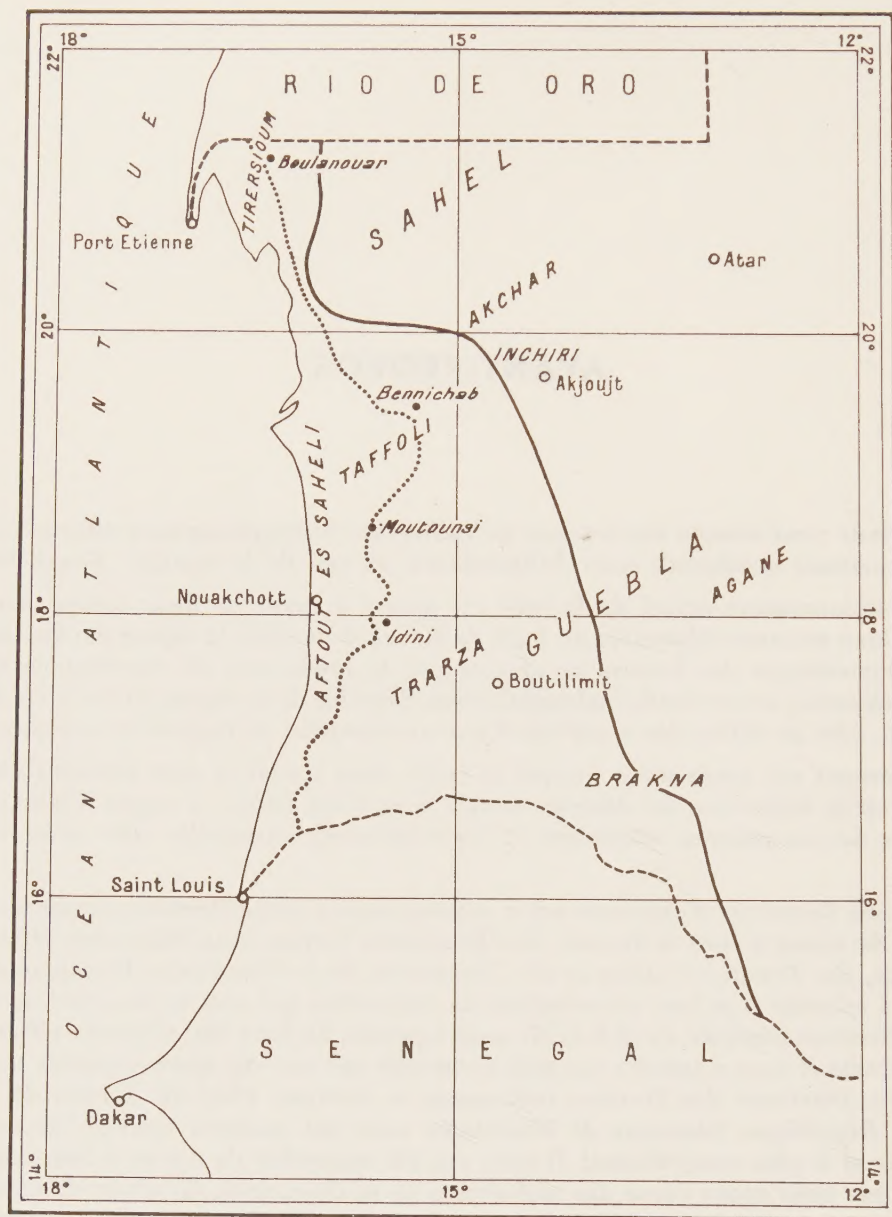
AVANT-PROPOS

Cette étude rend compte des travaux de recherches hydrogéologiques effectués de 1963 à 1965 en Mauritanie occidentale pour l'alimentation en eau de la capitale, Nouakchott.

L'approvisionnement actuel de la ville est assuré à partir de deux forages implantés à Idini, à quelque soixante kilomètres au S.S.E de Nouakchott, dans la région dunaire du Trarza. Devant l'augmentation des besoins de tous ordres, la production de ces deux captages s'est révélée insuffisante, et une étude hydrogéologique détaillée de la région d'Idini a été demandée au B.R.G.M., afin de définir les modalités d'une amélioration de l'approvisionnement.

Notre propos est, après avoir évoqué le cadre dans lequel se sont déroulés les travaux et fait un rapide historique des diverses études dont a été l'objet la nappe d'Idini, d'exposer les résultats de nos propres recherches et les conclusions auxquelles elles nous ont permis d'aboutir.

Nous nous devons ici d'exprimer notre reconnaissance aux différentes personnes qui nous ont permis de mener à bien ce travail. Son Excellence YAYAH OULD MENKOUS, Ministre de la Construction, des Travaux Publics et des Transports, de la République Islamique de Mauritanie nous a autorisé à utiliser des résultats de recherches qui sont la propriété de la Mauritanie. La Direction générale du B.R.G.M. nous a permis de faire état d'études effectuées sous sa responsabilité et nous a accordé une aide matérielle que nous ne saurions passer sous silence. MM. PAULIN, Directeur des Services techniques, et JANVIER, Chef du Service de l'Hydraulique de la République Islamique de Mauritanie nous ont toujours réservé l'accueil le plus sympathique et le plus compréhensif. Il nous eut été impossible de mener à bien notre travail sans l'aide que nous avons reçue des techniciens de la Compagnie Générale de Géophysique, géophysiciens et opérateurs, et de la Société de forage l'Hydraulique-Afrique, sondeurs et mécaniciens. Les avis exprimés par M. le Professeur CASTANY et M. BERKALOFF de la Direction scientifique du B.R.G.M., ainsi que par M. ELOUARD, Professeur à l'Université de Dakar, nous ont été des plus précieux. Nous voudrions mentionner tout particulièrement M. MOUSSU, chef du Service hydrogéologique de la Direction de Dakar du B.R.G.M., sans qui cette étude n'aurait pas vu le jour. Enfin, nous nous devons de rendre hommage à la mémoire du regretté G. HUOT, ancien chef d'agence de la C.G.G. à Dakar, dont les qualités humaines et professionnelles nous ont été d'un grand secours, et nous ont fait douloureusement ressentir le décès accidentel. Que tous veuillent bien trouver ici l'expression de notre gratitude.



--- Limite occidentale des eaux douces
 — Limite orientale du Bassin Sédimentaire

Echelle: 1/6.000.000
 100 50 0 100 200 300 km

FIG. 1.
 MAURITANIE OCCIDENTALE

INTRODUCTION

La partie occidentale de la Mauritanie est une région très plate où les seuls accidents de relief sont, d'une part quelques mamelons rocheux isolés (« guelbs ») dans les zones à substratum ancien (région d'Akjoujt par exemple), d'autre part les dunes. Ceci contraste nettement avec les plateaux primaires, bordés vers l'Ouest par des falaises, de l'Adrar, de l'Assaba et du Tagant.

Les Maures distinguent dans cet ensemble (fig. 1) deux grandes régions.

— Le Sahel (l'Ouest) s'étend, au Nord, du Rio de Oro à la plaine de l'Inchiri. De grandes plaines (Tirersioum, Taffoli, Inchiri) couvertes ou non de reg pierreux, plus ou moins ensablées, y alternent avec de vastes bandes dunaires (Akchar) de pénétration souvent très difficile.

— Le Guebla s'étend au Sud de l'Inchiri jusqu'à la vallée du fleuve Sénégal. Il est limité à l'Est par les falaises de l'Assaba et du Tagant, et à l'Ouest par l'océan. Là encore s'opposent les zones plates, peu ou pas ensablées, telles que l'Aftout es Saheli, l'Aftout ech Chergui, l'Agane, généralement très allongées pour une largeur de quelques kilomètres, et les zones de dunes telles que le Trarza, qui prennent parfois une extension considérable mais où l'accès est souvent plus aisé que dans le Sahel.

Le Trarza, où s'est déroulée l'étude dont il est rendu compte ici, est situé dans la partie occidentale du Guebla. Il est limité au Nord par l'Inchiri, à l'Ouest par l'Aftout es Saheli, à l'Est par l'Aftout ech Chergui, tandis qu'au Sud il s'étend jusqu'à la vallée alluviale du Sénégal.

Le Trarza est constitué par une vaste région de dunes rouges fixées par la végétation. Le paysage y est extrêmement monotone au premier abord, mais l'observation permet en fait d'y distinguer un grand nombre de variations de détail. La disposition et l'orientation des dunes, leur alignement en grands cordons longs de plusieurs kilomètres ou au contraire leur disposition en aklés (zones de barkhanes enchevêtrées), leur hauteur, leur largeur et celle des dépressions (ou « gouds ») qui les séparent, la plus ou moins grande importance de la végétation sont autant de facteurs qui ont permis aux Maures de distinguer dans le Trarza toute une série de régions naturelles. Il n'est pas de notre propos d'en faire l'énumération, puisqu'aussi bien notre étude n'a porté que sur un secteur réduit du Trarza. Le lecteur trouvera une excellente étude de détail dans la thèse de doctorat de P. ELOUARD (13) qui a étudié l'ensemble du Guebla mauritanien.

La région d'Idini est caractérisée par de grands cordons dunaires orientés SW-NE, d'une hauteur de 20 à 30 m, d'une largeur de 500 à 1 200 m, et dont la longueur peut dépasser 10 km. Les gouds interdunaires sont d'une largeur comparable à celle des dunes, et leur fond à peu près plat se trouve à une altitude de l'ordre de 10 à 15 m au-dessus du niveau marin. Vers le Sud et vers l'Est de la région étudiée, cette disposition régulière s'estompe et les dunes y prennent une disposition en aklé, formant des zones de relief confus, doucement mamelonné, où il est assez difficile de s'orienter.

CLIMAT

Dans la zone où s'est déroulée notre étude, le climat est du type saharien atlantique. La pluviosité est assez faible, la moyenne des précipitations annuelles est de l'ordre de 150 mm (1). Les pluies tombent généralement de juillet à octobre, avec un maximum en août. Des pluies d'hiver de faible intensité ne sont cependant pas inconnues. Cette répartition définit deux saisons nettement contrastées, une saison sèche de longue durée, et une courte saison des pluies.

Les températures moyennes annuelles montrent assez peu de variations, mais les températures extrêmes par contre peuvent varier de quelques degrés (3 à 5 °C) la nuit et le matin en hiver, jusqu'à plus de 45 °C à midi à la fin de la saison sèche (fin mai à début juillet).

Les vents les plus fréquents sont de secteur nord à est. Ils sont responsables des « vents de sable » fréquents au printemps. Plus rarement des vents d'Ouest se font sentir.

L'humidité relative est assez faible, 30 % et moins, sauf quand soufflent les vents d'Ouest. L'augmentation de l'humidité est alors très nettement ressentie, même à plus de 50 km de la mer.

VÉGÉTATION

Le tapis végétal, bien que discontinu, est important. Son cycle végétatif, subordonné à la répartition des pluies est court. La graminée la plus répandue dans la région étudiée est l'Initi ou Kham-Kham (*Cenchrus biflorus*).

Les arbustes épineux, Titarek (*Leptadenia spartum*) et Tourja (*Calotropis procera*) sont l'élément le plus caractéristique de l'intérieur, tandis que l'Ifernane (*Euphorbia balsamifera*) prend un très grand développement dans la partie occidentale du Trarza.

ETHNOGRAPHIE ET ÉCONOMIE

Le Trarza est peuplé de Maures, blancs arabes ou berbères, ainsi que d'une minorité de noirs, ouolofs ou toucouleurs. Ce sont des éleveurs nomades ou semi-nomades, qui vivent

(1) Les chiffres entre parenthèses renvoient à la bibliographie, à la fin du texte.

en groupes. Leurs campements sont constitués d'un nombre variable de tentes tissées en poil de chameau. Ces tentes, vastes et bien aérées, sont parfaitement adaptées aux conditions climatiques.

Les troupeaux, bovins, ovins, caprins et camelins, sont en général fort beaux, compte tenu des ressources du pays. Toutefois le dessèchement des pâturages en fin de saison sèche occasionne souvent un fort déchet, surtout si les pluies viennent à tarder. A cette époque les troupeaux descendent généralement vers le Sud, pour remonter vers le Nord après la saison des pluies. Le commerce du bétail constitue l'essentiel des ressources des Maures, mais on constate malheureusement un surpâturage autour des points d'eau, surpâturage qui occasionne une désertification risquant de compromettre ces ressources.

APERÇU GÉOLOGIQUE D'ENSEMBLE

Le recouvrement quaternaire masque complètement les formations antérieures. Toutefois depuis longtemps l'étude des puits a montré qu'il est d'une épaisseur assez faible. Il recouvre dans tout le Trarza les formations sablo- ou gréso-argileuses du Continental Terminal (Mio-Pliocène ?). Les terrains plus anciens ne peuvent être atteints que par forages, et l'extrême rareté de ceux-ci fait que l'on est dans l'ignorance presque totale de la géologie de cette région. Nous verrons que notre étude a apporté dans ce domaine une certaine contribution, en donnant la coupe complète des terrains jusqu'au socle ancien.

Toutefois quelques indices permettent de se faire une idée de la constitution profonde du Trarza. Le socle ancien, affleurant à quelque 250 km de la mer s'enfonce en pente douce vers l'Ouest jusqu'à une distance du littoral voisine de 50 km. L'épaisseur des terrains sédimentaires est alors de l'ordre de 500 m, ce qui correspond à une pente moyenne du socle de 0,25 %. A partir de là, l'enfoncement du socle est beaucoup plus rapide, et l'épaisseur totale des sédiments atteint au moins 2 000 m aux abords de la côte. La pente moyenne du socle dans cette région est donc de l'ordre de 3 %. On ne sait à quoi est due cette « flexure » du socle, mais on est porté à penser que l'approfondissement se fait par le jeu de failles en « marches d'escalier ».

On a pu également constater un épaississement souvent considérable des séries sédimentaires dans la zone littorale, en même temps qu'un enrichissement général en argiles. Les séries marines semblent présenter un caractère d'ensemble transgressif sur le socle, mais les éléments manquent pour démontrer ce dernier point.

APERÇU HYDROGÉOLOGIQUE D'ENSEMBLE

Cette question sera reprise avec plus de détail par la suite. Les grands traits de l'hydrogéologie du bassin sédimentaire sont caractérisés de la façon suivante.

-- Présence, dans les terrains du Continental Terminal, d'importantes réserves d'eau douce.

— Existence, tout le long de la côte, d'une zone à eau salée. Cette zone, de largeur

variable, atteint en certains points le socle affleurant à l'Est, et délimite ainsi trois grandes nappes douces. Ce sont, du Nord au Sud : la nappe du Tirersioum, à l'Est de Port Etienne, la nappe de Bennichab dans l'Inchiri, à l'Ouest d'Akjoujt, et enfin la nappe du Trarza.

— Présence, à l'Est du Trarza essentiellement, d'eau douce dans les formations de l'Eocène (nappe du Brakna).

— Enfin, nous sommes dans l'ignorance presque totale des possibilités aquifères des formations plus profondes. Nous aurons l'occasion de voir que dans le centre du Trarza les terrains éocènes semblent peu favorables à la présence d'eau, et que le Crétacé supérieur est salé.

La nappe du Trarza, dont une partie a été l'objet de notre étude, a été reconnue pour la première fois par F. JACQUET (15). En 1950 elle a été étudiée par J. ARCHAMBAULT (2), qui en a montré l'importance et l'intérêt économique. C'est une nappe « en creux » selon l'expression de J. ARCHAMBAULT (3). Elle forme, avec la nappe du Brakna qui semble en continuité avec elle, une vaste cuvette dont le centre est à une cote voisine de — 35 m. Cette disposition semblerait indiquer une alimentation par les bordures, et un écoulement centripète sans exutoire, mais cette question pose des problèmes qu'il n'est pas de notre propos d'aborder ici.

HISTORIQUE DES ÉTUDES EFFECTUÉES SUR LA NAPPE D'IDINI

La présence d'eau dans les formations du Continental Terminal du Trarza est connue des Mauritaniens depuis les temps les plus reculés. Les puits indigènes creusés dans le fond des gouds descendent en moyenne, dans la région que nous avons étudiée, à quelque 25 à 30 m de profondeur. La période de la domination française a également été celle de l'établissement d'un important réseau de puits modernes, de grand diamètre et munis d'un cuvelage en béton. La réalisation de tels puits, très appréciés, et pour lesquels un grand nombre de puits anciens ont été abandonnés, se poursuit actuellement par les soins du Service de l'Hydraulique de la Mauritanie.

Les pasteurs maures ont également remarqué l'existence, tout le long du littoral, d'une zone où la salure de l'eau dépasse le maximum admissible pour les besoins courants. Mais ce n'est qu'à l'occasion de l'établissement de la capitale de la République Islamique de Mauritanie à Nouakchott que le problème de cette zone salée s'est posé avec acuité.

LE PROBLÈME DE NOUAKCHOTT

Nouakchott se trouve près du littoral, environ au tiers de la distance entre la frontière du Sénégal et celle du Rio de Oro. Il est vite apparu que les besoins de la ville ne pouvaient être satisfaits par les mêmes moyens que ceux de l'ancien poste militaire de Nouakchott. Une série d'études fut donc entreprise pour déterminer le moyen d'alimenter la capitale en eau de bonne qualité.

On a tout d'abord pensé à s'adresser à de petites nappes douces que l'on connaissait à faible distance de Nouakchott. Ces accumulations sont dues à des conditions locales favorables qui permettent le ruissellement et l'infiltration des eaux de pluie. Mais très vite le caractère insuffisant de ces ressources fut mis en évidence. La quantité d'eau qu'elles représentent est trop faible, et surtout la qualité de l'eau laisse trop à désirer pour qu'on puisse songer à approvisionner une agglomération de l'importance de Nouakchott à partir de là. Les eaux salées de la nappe sous-jacente contaminent ces petites réserves, et, du fait

du puisage pastoral et de l'évaporation, il n'est pas rare qu'en fin de saison sèche leur salure atteigne ou dépasse 3 g/l.

La seule solution techniquement et économiquement admissible consistait alors à se tourner vers les réserves de la nappe douce du Trarza. L'étude de l'approvisionnement de Nouakchott à partir de cette nappe fut donc entreprise en 1959.

PREMIÈRE RECONNAISSANCE

Une étude géophysique, menée en 1956-57 en Mauritanie et au Sénégal par la Compagnie Générale de Géophysique (6) pour le compte du Service de Géologie et de Prospection Minière de l'A.O.F., avait déterminé grosso modo le tracé de la limite des eaux douces. L'étude hydrogéologique pour l'alimentation de Nouakchott partait donc sur des bases déjà définies, et elle fut menée au point de ce « front salé » le plus proche de Nouakchott, près du puits d'Hassi el Bagra, à une cinquantaine de kilomètres de la capitale (fig. 2).

Un certain nombre de forages furent donc réalisés dans le voisinage de ce puits. Ils devaient permettre de définir la distribution spatiale des salures, et ainsi de préciser l'allure locale du « front salé ». En outre, à partir d'essais de pompage, ils devaient fournir sur les caractéristiques hydrauliques de l'aquifère, des données permettant de déterminer l'implantation du futur dispositif de captage.

En dépit des critiques dont elle fut l'objet, on peut estimer que cette étude fut exécutée par les techniciens du Service de l'Hydraulique (5) d'une excellente façon, et dans un esprit nettement plus moderne (emploi de la formule de Theis, en particulier) que la plupart des études réalisées jusqu'alors en Mauritanie. Nous aurons cependant l'occasion de montrer qu'elle était passée à côté des problèmes les plus importants.

MISE EN EXPLOITATION DE LA NAPPE

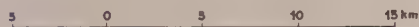
Compte tenu des conclusions des auteurs de cette reconnaissance, les forages d'exploitation furent implantés dans le goud d'Idini à une dizaine de kilomètres à l'Est d'Hassi el Bagra. Un sondage d'exploration permit de reconnaître un niveau aquifère de bonne qualité qui fut mis en exploitation par deux forages distants de 500 m. Un château d'eau fut construit sur le sommet de la dune qui domine à l'Ouest le goud d'Idini, et de là une conduite en fibrociment de 200 mm amena l'eau par gravité à Nouakchott.

La République Islamique de Mauritanie confia au B.R.G.M. la tâche de procéder, tant à Hassi el Bagra qu'à Idini, à des mesures de niveau et à des prises d'échantillons d'eau périodiques, afin d'assurer la surveillance de la nappe durant l'exploitation, et en particulier de déterminer si les pompages ne risquaient pas d'amener des mouvements du front salé préjudiciables à la sécurité des captages.

ÉTUDE HYDROGÉOLOGIQUE DANS LA RÉGION D'IDINI
EN VUE DE L'ALIMENTATION EN EAU DE NOUAKCHOTT
(RÉPUBLIQUE ISLAMIQUE DE MAURITANIE)

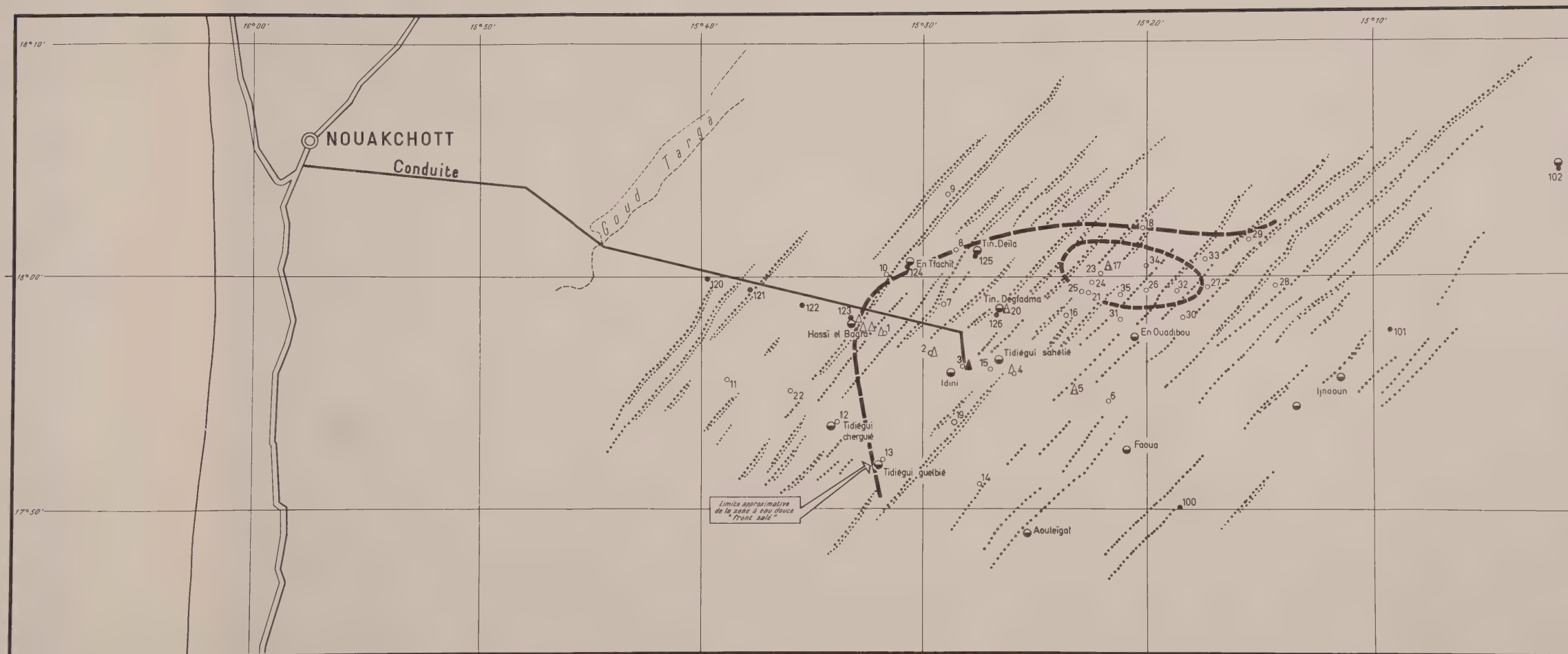
PLAN GÉNÉRAL DE SITUATION

ECHELLE : 1/300 000



- S.E. des anciennes études
- S.E. de l'étude 1964
- △ Forages HYDRAF 1964/1965

FIG. 2.



NOUVEAUX BESOINS — DÉFINITION D'UN PROGRAMME D'ÉTUDE

En novembre 1962, la quantité d'eau fournie par les forages d'Idini était devenue insuffisante pour couvrir les besoins de Nouakchott. Sur une production journalière de 900 m³, 600 environ parvenaient à la ville, le restant alimentant des abreuvoirs disposés le long de la conduite. Ces chiffres étaient faibles par rapport aux prévisions qui avaient été faites lors de la réalisation des ouvrages, mais avant d'augmenter la production, les services techniques de la Mauritanie tenaient à acquérir une meilleure connaissance de l'hydrogéologie de la région. Le soin d'étudier les conditions existantes et de définir les possibilités d'améliorer l'approvisionnement de Nouakchott fut confié au B.R.G.M. et nous fûmes chargé de cette tâche.

Notre premier travail, en décembre 1962, consista en la synthèse des connaissances d'alors, sur la base des documents en notre possession, en l'exploitation des mesures périodiques de niveau et de salure des eaux, et en l'interprétation de quelques essais sommaires de débit exécutés par les prospecteurs du B.R.G.M.

Nous constatons alors que les conditions régnant à Idini, tant dans le domaine du gisement de la nappe que dans celui des propriétés de l'aquifère ou de la répartition des salures, ne correspondaient pas au schéma qui avait été déduit de l'étude d'Hassi el Bagra. L'interpolation était impossible entre ces deux points. Ce fait ne nous surprenait pas, étant donné l'hétérogénéité bien connue des terrains du Continental Terminal. Mais d'un autre côté cela mettait en relief la nécessité d'une étude plus approfondie de la zone comprise entre Hassi el Bagra et Idini.

Nous concluons donc cette première étude, purement documentaire, en proposant un programme de travaux destinés à résoudre le problème des relations entre l'aquifère étudié à Hassi el Bagra et la nappe captée à Idini :

- une ligne de sondages forés entre Hassi el Bagra et Idini devait permettre de résoudre les problèmes relatifs au gisement de l'eau et en particulier à la continuité des niveaux aquifères,

- une campagne de sondages électriques devait fournir les éléments nécessaires à l'extrapolation des résultats de l'opération précédente,

- éventuellement d'autres forages seraient réalisés pour étudier tel ou tel problème qui pourrait être posé au cours du déroulement des travaux,

- enfin il était prévu que, sur indications de la géophysique, un sondage profond serait implanté pour tenter de reconnaître les terrains antérieurs au Continental Terminal. Notre idée était que, en cas de carence des aquifères supérieurs, des ressources en eau pourraient peut-être être découvertes et exploitées dans les formations maestrichtiennes, à l'exemple du Sénégal.

Sur ces entrefaites, nous fîmes, en janvier 1963, une tournée d'inspection en Mauritanie. Nous en profitâmes pour exécuter à Idini un essai de débit plus rigoureux que ceux qui avaient été auparavant effectués par les prospecteurs du B.R.G.M. Nous fîmes alors quelques constatations qui précisaient nos conclusions antérieures, sans pour autant les remettre en question.

Dans les conversations que nous eûmes alors avec les représentants de l'Administration et avec les responsables de l'exploitation, nous nous contentâmes de conseiller une augmentation du débit pompé pour satisfaire les besoins du moment. Les captages étaient en effet,

à notre avis, parfaitement en mesure de faire face à une demande accrue. Mais dans le même temps nous insistions sur la nécessité d'une étude plus approfondie, conforme au programme que nous avons défini, avant toute modification importante du système d'approvisionnement de Nouakchott.

PREMIÈRE CAMPAGNE D'ÉTUDE

La campagne d'étude eut lieu de janvier à juin 1964. Les sondages électriques furent exécutés par la Compagnie Générale de Géophysique (C.G.G.), tandis que les forages et travaux annexes étaient confiés à la Société Hydraulique Afrique (HYDRAF).

Au total 35 sondages électriques, 22 en ligne AB=4 000 m et 13 en ligne AB=2 000 à 3 000 m, ont constitué l'étude géophysique. Les 13 sondages en ligne plus courte ont été réalisés dans une seconde phase de l'étude pour préciser certains résultats de la première phase, notamment en ce qui concerne le tracé du front salé au Nord d'Idini.

Le dispositif de sondages comprend 9 ouvrages totalisant près de 1 200 m. Sept d'entre eux sont situés sur une ligne Hassi el Bagra-Idini, un huitième a servi à l'étude du front salé au Nord d'Idini; enfin le sondage profond a été implanté à environ 4 km à l'Est d'Idini. Ces forages ont été exécutés à l'aide d'une sondeuse au rotary JOY 225. L'emploi de boue bentonitique a permis une excellente récupération des cuttings, encore que la viscosité un peu trop élevée de la boue ait pu par moments apporter quelque confusion dans ce domaine.

Les principaux résultats fournis par cette campagne ont permis de répondre avec une probabilité satisfaisante aux questions que nous avons posées. Le problème de la continuité des niveaux aquifères, et en particulier celui des relations entre la nappe étudiée à Hassi el Bagra et la nappe captée à Idini, a été résolu. Le schéma déduit de la première étude sur la nature et la forme du front salé s'est révélé trop simplifié, et un grand pas a été fait vers la compréhension de ce phénomène. Enfin une première estimation des possibilités de la nappe a pu être faite.

Les résultats de l'étude géophysique et l'exécution du sondage profond ont en outre fourni de précieux enseignements sur la constitution du bassin sédimentaire dans cette région. Mais du point de vue pratique cette étude de détail s'est révélée décevante, le Maestrichtien étant trop peu perméable et son eau trop salée pour permettre d'en envisager l'exploitation.

SECONDE CAMPAGNE D'ÉTUDE — TRAVAUX COMPLÉMENTAIRES

Tout en résolvant les problèmes que nous avons pu poser auparavant, l'étude en avait fait ressortir d'autres. Il nous était apparu que certains points méritaient l'examen, en particulier la question de la prolongation à l'Est d'Idini de ce que nous avons observé à l'Ouest, en direction d'Hassi el Bagra. En outre l'étude géophysique avait décelé deux anomalies conductrices dans le sein de la nappe douce. L'une avait déjà reçu une explication au cours de la première campagne, mais la seconde nous sembla mériter un examen supplémentaire.

Nous proposâmes, pour répondre à ces questions, la réalisation de 3 nouveaux ouvrages, 2 à l'Est d'Idini, et 1 sur l'emplacement de l'anomalie géophysique.

Dans le même temps le B.R.G.M. décidait d'entreprendre, dans le cadre de son programme propre de recherche fondamentale, une étude plus détaillée du « front salé ». Le but de cette opération était de chercher à préciser la nature d'un tel front salé, qui apparaissait comme très différent des fronts classiques d'invasion marine au voisinage des côtes, tout en faisant l'essai d'une méthode d'étude d'un tel phénomène. On espérait en outre en tirer des enseignements sur les modalités de mise en mouvement de l'eau dans les conditions particulières de gisement de la nappe (nappe captive). Un programme d'étude prévoyant la réalisation d'une ligne de piézomètres perpendiculaire au front salé et l'exécution de pompages dans un forage équipé à cet effet fut donc élaboré.

Cette nouvelle phase des travaux eut lieu de novembre 1964 à mars 1965; les enseignements en furent de valeur, encore qu'elle n'ait pas atteint tous les buts qu'elle s'était proposés.

La prolongation de l'aquifère vers l'Est et l'influence des pompages d'Idini dans cette zone furent clairement établis. L'anomalie conductrice fut expliquée, et elle devait même nous fournir un argument supplémentaire en faveur d'une nouvelle théorie explicative de la nature du front salé.

L'étude particulière du front salé a fourni les bases de la nouvelle théorie à laquelle nous venons de faire allusion. Celle-ci s'appuie essentiellement sur le mode de gisement de l'eau salée et sur la distribution spatiale des salures, qui ne furent clairement et complètement mis en évidence qu'à la suite de cette opération.

Par contre l'expérimentation que nous avions pensé pouvoir réaliser par nos pompages ne nous a pas apporté les résultats que nous en escomptions. Ceci était au reste prévisible, eu égard à la faiblesse des moyens dont nous disposions devant l'importance des phénomènes impliqués.

A la suite de cette dernière phase des travaux, nous étions en possession d'un nombre de données suffisant pour préciser nos premières conclusions. Nous pouvions en particulier faire une évaluation des réserves plus exacte qu'auparavant. Nous montrions que le centre de captage d'Idini était très largement en mesure de fournir l'eau nécessaire à Nouakchott pendant les 25 ans à venir. Nous pouvions proposer une nouvelle implantation du centre de captage pour faire face à un éventuel accroissement futur des besoins. Nous étions enfin en mesure d'établir que le front salé ne représentait pas un danger pour l'exploitation, comme on avait auparavant cru devoir le craindre.

Ce sont les résultats de ces études que nous allons maintenant exposer, après avoir fait un rapide exposé critique des méthodes qui furent utilisées.

LES MÉTHODES UTILISÉES

Les méthodes d'étude employées se sont dans l'ensemble révélées bien adaptées à une étude de ce genre. Nous pensons utile d'en donner un bref aperçu, en insistant surtout sur leurs points faibles, et en indiquant de quelle façon, selon nous, il eut parfois été utile de procéder pour remédier à leurs imperfections.

LA GÉOPHYSIQUE

Ainsi que nous l'avaient laissé entendre les représentants de la C.G.G., l'étude géophysique par sondages électriques n'a pas été en mesure de nous renseigner sur la constitution des niveaux supérieurs du Continental Terminal. Les alternances hétérogènes de sables plus ou moins argileux et d'argiles plus ou moins sableuses qui constituent ces niveaux ne produisent pas de contrastes de résistivité permettant de les différencier. Il ne semble d'ailleurs pas qu'une autre méthode géophysique soit en mesure de fournir ce genre de renseignements. Nous sommes là à la limite des possibilités de ce mode d'investigation. En revanche les variations de résistivité liées aux différences de salure de l'eau sont très nettement apparues, ce qui a permis de tracer avec une bonne précision le contour du front salé.

C'est surtout dans l'investigation profonde que la géophysique a fourni le plus de renseignements. La forme et la profondeur du socle ont été bien caractérisées. Au SE 4 l'étude géophysique avait prévu une profondeur du socle comprise entre 450 et 500 m, mais avait dénié la possibilité de rencontrer une nappe maestrichtienne douce. De fait le sondage profond implanté à cet endroit a touché le socle à 480 m de profondeur et l'eau du Maestrichtien a un résidu sec voisin de 17 g/l.

LES SONDAGES

La méthode de forage au rotary a fourni d'excellents résultats. Les vitesses d'avancement étaient très fortes, ce qui a permis la réalisation d'un programme assez lourd dans un mini-

mum de temps. La récupération des cuttings a été bonne, et si nous avons obtenu une précision moindre que dans le cas de forages au battage, elle a cependant été très satisfaisante pour nos besoins.

Notre principale critique dans ce domaine portera sur l'emploi de la boue bentonitique. Les foreurs ont tendance à utiliser des boues de viscosité élevée pour éviter les incidents de forage. En outre, pour éviter des manœuvres supplémentaires, la boue est parfois utilisée au-delà des limites souhaitables. Ces façons de faire ont deux inconvénients.

— En premier lieu, que la boue soit trop visqueuse ou qu'elle soit contaminée par les argiles du terrain, la récupération des cuttings est perturbée. Le sable fin a tendance à rester en suspension, ce qui fausse les résultats. En pareille occasion le géologue a intérêt à insister pour que l'on emploie une boue assez légère. Le dépôt du sable en est facilité, et les mélanges de cuttings sont ainsi évités. Le dessablage fréquent de la fosse à boue et des goulottes s'impose, mais cet inconvénient est plus que largement compensé par la précision obtenue.

— En second lieu le contact prolongé de la boue avec le terrain amène un colmatage des formations perméables qu'il est très difficile de combattre. Par exemple les essais de pompage que nous avons effectués sur le forage d'Hassi el Bagra ont montré l'existence de très fortes pertes de charge aux abords de l'ouvrage, et nous ne pouvons expliquer ce phénomène que par le colmatage de l'aquifère par la boue. Il est donc de la plus haute importance pour le géologue de veiller à la qualité de la boue en ce qui concerne le filtrat, et en particulier d'exiger le remplacement par de la boue neuve, d'une boue qu'auraient contaminée les argiles du terrain.

CRÉPINES DE MATIÈRE PLASTIQUE

Lors de l'étude du front salé, nous avons mis au point une méthode d'observation des fluctuations de salure par mesures électriques. Les piézomètres ont été crépinés à l'aide de tubes de matière plastique lanternés. Au contraire des crépines métalliques classiques, cet équipement permet le passage du courant électrique dans le terrain, et par conséquent les opérations de carottage électrique. La méthode a donné d'excellents résultats. Les diagraphies électriques réalisées dans le trou en boue avant l'équipement, puis dans le trou crépiné, en eau, sont pratiquement identiques. Par ailleurs les craintes que nous avons conçues a priori quant à la solidité de ces crépines de matière plastique se sont révélées vaines. Leur mise en place a été très facile, et il semblerait même que les précautions nécessaires lors du crépinage par tubes métalliques puissent être négligées dans ce cas.

Par contre un inconvénient de cette méthode a été mis en évidence lors de notre étude. Les fentes que l'on peut réaliser dans les tubes de matière plastique sont nettement plus grandes que les fentes normales des crépines classiques. En conséquence une proportion plus grande des éléments fins du terrain peuvent les traverser. Lors du développement des ouvrages à l'émulseur, la colonne d'eau contenait donc une assez grande quantité de sable fin qui s'est déposé à la base des crépines à l'arrêt du pompage. Nous avons constaté de la sorte des dépôts de sable de l'ordre de 60 cm à 1 m dans le fond des ouvrages. L'inconvénient qui en résulte peut être combattu de deux façons, soit en enveloppant les crépines d'une toile de nylon avant leur mise en place, soit plus simplement en descendant le pied des crépines plus bas que le mur de l'aquifère pour constituer un piège à sable. Nous avons utilisé cette seconde façon de faire à Hassi el Bagra, et les résultats en ont été excellents.

MESURES DES NIVEAUX D'EAU

Lors des essais de pompage les mesures ont été effectuées de différentes façons.

— Les mesures de niveau dans le forage ont été réalisées à l'aide d'une ligne d'air connectée à un manomètre à mercure. La ligne d'air a été placée dans un tube de diamètre 1", extérieur et contigu au tubage principal. Ceci nous a évité de voir la ligne d'air, constituée d'un tube mince de cuivre, écrasée entre le tubage et la colonne de pompage lors de la mise en place de la pompe. Le manomètre à mercure a été réalisé sur place à l'aide de tubes de nylon. L'étanchéité des connexions a posé des problèmes, mais dans l'ensemble les résultats ont été satisfaisants.

— L'évolution des niveaux dans les deux piézomètres les plus proches du forage a été enregistrée au moyen de deux limnigraphes HWK P 10. Cette méthode manque de précision au début du pompage, la vitesse de rotation du tambour étant partiellement trop faible. En outre, il arrive fréquemment que le flotteur, en collant à la paroi du tubage, ne suive les mouvements du plan d'eau qu'avec un certain retard. L'enregistrement a alors un tracé « en escalier » qui peut être gênant si l'on ne prend pas soin de surveiller l'appareil. Les défauts de cette méthode nous ont conduit à utiliser, lors des derniers essais, des sondes électriques Rossignol. Dans des ouvrages de diamètre suffisant (2"1/2) et à condition de vérifier l'étalonnage du fil, ces instruments donnent satisfaction.

— Les autres mesures de niveau ont été effectuées à la sonde mécanique HWK. Dans les limites de son emploi (précision de 1 cm), cet instrument, convenablement réglé, donne toute satisfaction.

Les débits ont été évalués au tube de Pitot. A condition de procéder à un étalonnage soigneux à l'aide d'un récipient de capacité mesurée, et si le matériel utilisé (pompe et moteur) a un fonctionnement régulier, cette méthode donne une précision largement suffisante pour les besoins pratiques. Les abaques fournis par le constructeur de la pompe, Layne et Bowler Inc., sont extrêmement précis.

PRÉCISION ET VALIDITÉ DES CONCLUSIONS

Outre ces considérations de nature technique, il est un autre point sur lequel il est utile de s'étendre quelque peu. Il s'agit de la méthode d'ensemble que nous avons employée pour étudier la nappe d'Idini.

L'utilisation de forages parfois distants de 3 ou 4 km pour étudier des corrélations géologiques et hydrogéologiques dans des terrains aussi peu homogènes que ceux du Continental Terminal semble une gageure. Il est certain que s'introduit là un facteur d'imprécision sur lequel nous aurons l'occasion de revenir par la suite, et qu'il est très difficile d'apprécier. L'étude détaillée que nous avons faite de la zone du front salé nous a en effet révélé une hétérogénéité bien plus grande que celle que nous avons constatée pour l'ensemble de la région. Il nous semble à peu près certain qu'une densité plus grande de sondages nous aurait amené à des conclusions quelque peu différentes. Nous ne pensons pas cependant devoir remettre considérablement en question les résultats obtenus, non plus que les extrapolations que nous avons pu faire. Nous aurons plus tard l'occasion de souligner la bonne qualité d'en-

semble des corrélations que nous avons obtenues, et ce point nous paraît suffisamment important pour que nous considérions les résultats de notre étude comme valables.

Cette imprécision relative est assez gênante surtout dans le domaine des caractéristiques géométriques, et de l'aquifère et de la nappe. Nous avons été amené à faire un certain nombre d'hypothèses, que nous ne manquerons pas de signaler en temps utile, et qui peuvent dans une certaine mesure réduire la validité de certaines de nos conclusions dans ce domaine. On pourra, à juste titre, nous reprocher d'avoir dessiné des cartes de l'aquifère et de la nappe avec une précision illusoire étant donné le petit nombre de points sur lesquels nous nous appuyons. Il nous serait certes à la fois utile et agréable de pouvoir disposer d'un plus grand nombre de données, mais nous doutons de pouvoir jamais les obtenir, vu l'importance des travaux nécessaires, et le coût de l'opération que cela impliquerait. A moins que dans les années à venir apparaissent des anomalies importantes que nous n'aurions pas prévues, et qui obligeraient à remettre profondément en question notre façon de voir, les dépenses occasionnées par une étude complémentaire seraient disproportionnées avec l'intérêt que l'on peut légitimement attendre de ses enseignements.

Enfin nous dirons qu'il nous a semblé préférable de fournir des conclusions dans une certaine mesure aléatoires, que de n'en pas fournir du tout. Une étude du genre de celle-ci ne peut en aucune façon éviter une part d'hypothèse. Nous pensons montrer que les hypothèses que nous avons été amené à faire sont légitimes, et que la probabilité pour que nos conclusions n'aient pas à être remises en question de façon importante est satisfaisante.

NOMENCLATURE ET CARACTÉRISTIQUES DES OUVRAGES

Nous disposons, pour l'étude géologique et hydrogéologique de la région d'Idini, de 19 sondages. Nous ne comptons pas dans ce nombre les ouvrages de la première reconnaissance d'Hassi el Bagra, qui n'ont pas atteint une profondeur suffisante.

Ces sondages ayant été réalisés en quatre opérations, il en résulte une certaine hétérogénéité dans la nomenclature. Ce fait est regrettable en ce qu'il risque de créer de la confusion, mais il était inévitable. L'exposé qui suit cherche à apporter quelque clarté dans cette situation.

CHRONOLOGIE DES OUVRAGES

Les quatre groupes de sondages, en fonction de l'époque de leur réalisation sont les suivants.

— Les 3 ouvrages d'Idini : un sondage de reconnaissance actuellement équipé en piézomètre; P1, et les deux forages d'exploitation : F1 et F2. Il existe un second piézomètre (P2), à quelques mètres de P1, mais il ne fournit aucun renseignement supplémentaire.

— Les 7 piézomètres et les 2 forages réalisés au cours de notre première campagne d'étude. Six piézomètres forment une ligne d'Hassi el Bagra à Idini. Ils sont désignés par les lettres A à F, d'Ouest en Est, sans égard pour leur date d'exécution. Le septième piézomètre est désigné par le numéro du sondage électrique sur lequel il a été implanté : SE 17. Un des forages est situé à Hassi el Bagra et porte le nom de ce lieu (en abrégé H el B). L'autre a été foré sur l'emplacement du sondage électrique N° 4 et en porte le nom; eu égard à sa profondeur il est appelé SE 4 profond, en abrégé SE 4 p.

— Les 3 piézomètres réalisés au cours de notre campagne complémentaire. Ils sont désignés par le numéro du sondage électrique sur l'emplacement duquel ils ont été forés. Ce sont SE 4 (voisin de SE 4 p), SE 5 et SE 20.

— Les 3 piézomètres et le forage réalisés au voisinage d'Hassi el Bagra pour y étudier la bordure de la nappe d'Idini (« front salé »). Les piézomètres ont été nommés FS 1, FS 2 et FS 3 dans l'ordre de leur réalisation, d'Est en Ouest. Le forage porte la désignation FFS.

SITUATION GÉOGRAPHIQUE

Géographiquement les 19 sondages se divisent en :

- une ligne W-E partant d'Hassi el Bagra et passant par Idini. Elle est constituée d'Ouest en Est par :
A, H el B et B, C, FS 3, FFS, FS 2, FS 1, D, E, F, P 1 et F 1, SE 4 p et SE 4, SE 5,
- une ligne partant d'Idini et dirigée vers le NE, comprenant :
P 1 et F 1, F 2, SE 20,
- un ouvrage isolé dans la partie nord de la nappe : SE 17.

CARACTÉRISTIQUES DES OUVRAGES

Nous donnons ici, sous forme de tableaux, les principales caractéristiques des sondages :

1° Localisation et époque de réalisation

Localisation		Distance*	Epoque de réalisation
A	ligne W-E	0	avril 1964
H el B	ligne W-E	400	février-mars 1964
B	15 m S de H el B		avril 1964
C	ligne W-E	636	avril 1964
FS 3	ligne W-E	830	décembre 1964
FFS	ligne W-E	880	janvier 1965
FS 2	ligne W-E	952	décembre 1964
FS 1	ligne W-E	1 172	décembre 1964
D	ligne W-E	1 414	avril 1964
E	ligne W-E	3 040	mars 1964
F	ligne W-E	6 740	mars 1964
P 1	ligne W-E	9 923	juillet 1958
F 1	ligne W-E	9 940	1958/59 ?
F 2	500 m env. NE de F 1		1958/59 ?
SE 4 p	ligne W-E	13 780	mars-avril 1964
SE 4	ligne W-E	13 800	novembre 1964
SE 5	ligne W-E	18 000 (env.)	novembre 1964
SE 20	4 000 m env. NE de F 1		décembre 1964
SE 17	11 000 m env. NE de SE 4		avril 1964

(*) Les distances sont données en mètres. Pour la ligne W-E, elles sont mesurées d'Ouest en Est à partir de l'ouvrage le plus occidental : le piézomètre A.

2° Altitude, profondeur et diamètres caractéristiques

	Altitude* (mètres)	Prof. (mètres)	Diamètres en pouces		
			Forage	Tubage	Crépines
A	13,76	81,24	6	2 1/2	2 1/2
H el B	?	162,30	12 1/4	6 5/8	4
B	10,86	75,35	6	2 1/2	2 1/2
C	21,92	92	6	2 1/2	2 1/2
FS 3	26,33	100,75	6	2 1/2	2 1/2
FFS	26,67	103	12 1/4	6 5/8	4
FS 2	27,94	101	6	2 1/2	2 1/2
FS 1	25,96	97	6	2 1/2	2 1/2
D	8,81	80,21	6	2 1/2	2 1/2
E	8,18	81,81	6	2 1/2	2 1/2
F	13,75	75,25	6	2 1/2	2 1/2
P 1	12,68	164,78	?	?	?
F 1	12,75	69,90	12 1/4	10	8
F 2	?	72,60	12 1/4	10	8
SE 4 p	16,67 ?	483,15	**	***	4
SE 4	16,43 ?	88,29	6	2 1/2	2 1/2
SE 5	(23,80)	100,50	6	2 1/2	2 1/2
SE 20	(8,18)	82	6	2 1/2	2 1/2
SE 17	(12,80)	87,80	6	2 1/2	2 1/2

(*) Les valeurs suivies d'un point d'interrogation ne sont pas sûres. Les valeurs entre parenthèses proviennent d'un nivellement barométrique.

(**) SE 4 p a été foré en 17"3/8 jusqu'à 44,76 m, puis en 12"1/4 jusqu'à 112,25 m, et enfin en 9"7/8.

(***) SE 4 p a été tubé en 6" jusqu'à 100 m, puis en 4".

3° Crépinage, gravillonnage, développement

	Profondeur des crépines (mètres)		Nature des crépines	Gravillonnage*	Développ.**
	tête	pied			
A	70	78	Inox	400 l, B 1-2	p, E(18)
H el B	60	76,50	Inox	2 200 l, B 1-2	p, E(28), p
B	65,30	74,70	Inox	2 000 l, B 1-2	p, E(10)
C	80,80	89,20	Inox	400 l, B 1-2	p, E(10 1/2)
FS 3	74,57	97,97	Lucoflex	465 l, Q 2-4	E (11)
FFS	78,01	98,98	Inox	2 600 l, B 1, 5-2, 5	p, E, Ph, P
FS 2	74,50	98	Lucoflex	465 l, Q 2-4	E (15 1/2)
FS 1	70,48	93,77	Lucoflex	465 l, Q 2-4	E (24)
D	69,80	77,90	Inox	400 l, B-1-2	p, E(16)
E	66,87	75,26	Inox	400 l, B-1-2	p, E(16)
F	57,94	66,34	Inox	400 l, B-1-2	p, E(19 1/2)
P 1					
F 1	57,03	66,34			
F 2	59,72	70			
SE 4 p	434,90	455,40	Inox	2 500 l, B 1-2	p, E(48), Ph
SE 4	75,69	84,12	Inox	400 l, B 2-4	E (18)
SE 5	87	95,43	Inox	600 l, B 2-4	E (18 1/2)
SE 20	62,65	71,08	Inox	800 l, B 2-4	E (20)
SE 17	69,24	77,24	Inox	500 l, B 1-2	p, E(11 1/4)

(*) B signifie qu'on a utilisé du gravier de basalte en provenance de Dakar, Q du gravier de quartz d'origine mauritanienne (Bennichab).

(**) p signifie pistonage, E émulsion, le nombre entre parenthèses indique la durée d'émulsion en heures, Ph signifie phosphatage et P pompage.

LA COUPE STRATIGRAPHIQUE DANS LA RÉGION D'IDINI

Le sondage profond SE 4, situé à environ 4 km à l'Est d'Idini a touché le socle, et a donc fourni une coupe complète des terrains sédimentaires. En voici un bref aperçu (fig. 3)

1. **Le socle ancien.** L'étude géophysique avait conclu à une épaisseur de terrains sédimentaires comprise entre 450 et 500 m à l'emplacement du sondage électrique SE 4 (7). De fait le sondage a rencontré le socle à 480,60 m de profondeur (origine des profondeurs à la table de rotation).

Une carotte a été prise au carottier double. La récupération a été de 100 %. La roche remontée est une quartzo-phyllade finement litée et recoupée de filonnets de quartz. Le litage est extrêmement relevé, avec des pendages égaux ou supérieurs à 80°. Des microplis et d'autres accidents viennent encore compliquer la structure de cette roche. Le microscope y montre des lits de quartz en grains sub-égaux anguleux et engrenés, alternant avec des lits constitués de séricite et de chlorite (pennine); un peu de pyrite y a également été observée.

Il s'agit là d'une formation épimétamorphique dont les relations n'ont pas pu être établies nettement avec les terrains anciens connus à l'affleurement tant à l'Est qu'au Nord du bassin sédimentaire. Il est cependant possible qu'elle puisse être rapprochée de certaines formations de la série d'Akjoujt, étudiée par R. GIRAUDON et J. MARCELIN (16).

2. **Le Maestrichtien.** Immédiatement au-dessus du socle, une formation puissante de 56 m (424-480 m de profondeur) a été attribuée au Maestrichtien. Il s'agit fondamentalement de sables argileux, mais une nette différenciation s'observe de bas en haut. Des sables très fins à la base, de coloration uniforme grise, fortement argileux, passent progressivement vers le sommet à des sables rosés, relativement grossiers (grains de l'ordre de 2 mm), mais toujours extrêmement argileux. Cette formation, épaisse de 49 m (431-480 m), est surmontée d'une couche de 3 m d'argile très collante, ne contenant qu'une très faible proportion de sables, en général grossiers. Enfin le sommet du Maestrichtien est représenté par 4 m de sables très hétérométriques, à forte proportion d'éléments grossiers, peu ou pas argileux, et de coloration générale rosée. Ce dernier faciès est connu comme caractéristique du Maestrichtien

dans de nombreux forages du Sénégal, et c'est ce trait qui a déterminé notre diagnose. La coloration rose est due à la présence d'une certaine proportion de grains de quartz rougis par l'oxyde de fer.

3. **Le Paléocène.** Entre 385 et 424 m de profondeur le forage a traversé des alternances de calcaires marneux et d'argiles grises qui ont pu être datées du Paléocène par la présence d'*Aphidium* sp.* et de *Textularia* sp. vers la base, microfossiles communs dans les faciès littoraux du Paléocène inférieur, et au-dessus de 400 m par des *Nummulites* cordelées et par *Rotalia* aff. *mexicana*.

4. **L'Eocène inférieur.** Le Paléocène est surmonté de 145 m (240-385 m) d'argiles dures, gris-noir, à nombreux petits bancs de silex, formant une série très monotone. Ces terrains sont datés par la présence de *Daviesina* sp. et de quelques ostracodes de l'Eocène inférieur.

5. **Le Lutétien.** Cet étage, caractérisé par *Rotalia* cf. *hensonii* a été traversé sur 70 m, entre 170 et 240 m de profondeur. Il est constitué par des alternances de calcaires marno-gréseux et de marnes sableuses. Ces terrains sont d'une couleur grise uniforme, et le faciès en rappelle beaucoup celui du Paléocène.

6. **Le Continental Terminal.** Ces terrains, constitués de formations très variées, sables et grès plus ou moins argileux, argiles plus ou moins sableuses, présentent une très grande hétérogénéité dans le détail. Il n'est pas possible de retrouver dans le détail la même coupe d'un forage à l'autre, et il serait fastidieux et de peu d'intérêt de faire la description complète de toutes les coupes. L'examen des logs de sondage est d'ailleurs infiniment plus parlant que toute description. Il est cependant possible de distinguer trois grands ensembles, assez bien caractérisés, et que nous avons retrouvés dans les trois forages qui ont atteint la base du Continental Terminal. Ce sont, de bas en haut :

a) des sables, généralement assez grossiers (1 à 2 mm) et assez argileux, parfois alternés de couches d'argiles, et qui occupent au SE4 les 22 m inférieurs du Continental Terminal;

b) une épaisse série de grès argileux que l'on a recoupée au SE4 entre 84 et 148 m de profondeur. Cette formation, qui correspond aux grès du Trarza et aux grès de Kaédi de P. ELOUARD, est d'une constance remarquable dans toute la région étudiée. Nous verrons qu'ils forment le mur de la nappe d'Idini, et nous les avons rencontrés dans tous les forages exécutés dans la région. La fraction argileuse en est blanche ou rouge, plus rarement grise ou verdâtre. La fraction sableuse en est extrêmement fine (« farine »). Le caractère gréseux de ces terrains, que P. ELOUARD avait bien vu dans le forage de reconnaissance d'Idini, nous a tout d'abord échappé. Ces grès sont en effet très peu consolidés et le forage au rotary les désagrège complètement. Il ne remonte qu'une bouillie argileuse contenant une forte proportion de sables très fins. L'examen de la diagraphie électrique a cependant laissé pressentir qu'il s'agissait de grès, et un carottage mécanique l'a établi. Ces grès sont traversés de passées sableuses ou argileuses, et certains niveaux contiennent en outre une forte proportion de gravillons ferrugineux;

c) au-dessus de ces grès se trouve une série de sables extrêmement variés qui forment les aquifères principaux de la région. Sables fins et sables grossiers, plus ou moins argileux, alternent. Ils sont généralement séparés en deux ensembles par une couche d'argile que

(*) Les déterminations de la microfaune sont dues à C. MONCIARDINI, micropaléontologiste au B.R.G.M.

le SE 4 a traversée entre 40 et 57 m de profondeur. Cette disposition présente un intérêt hydrogéologique majeur, et nous aurons à y revenir ultérieurement.

7. Le Quaternaire. Les dépôts quaternaires sont de deux sortes dans la région.

a) On rencontre en premier lieu des sables éoliens rouges ou blancs. Les sables rouges forment les grandes dunes orientées NE-SW qui donnent son caractère à toute cette région. Les gouds ne montrent que du sable blanc. Mais il est fréquent d'observer également du sable blanc à la base des dunes. Il semble donc que ce sable blanc soit le plus ancien. Ceci semble en contradiction avec ce qui a été observé en d'autres points de la Mauritanie*. On peut avancer l'hypothèse qu'il y ait eu deux épisodes éoliens producteurs de sable blanc, séparés par l'épisode à sable rouge. On a également émis l'idée que le sable blanc provenait d'un lessivage du sable rouge, mais il a été remarqué que c'est généralement à la limite des deux formations, sur la pente des dunes, que se rencontrent des vestiges d'industrie humaine, débris de poteries, de coquilles d'œufs d'autruches... Cette disposition nous semble militer en faveur de l'hypothèse de l'origine différente des deux sables.

b) Le fond des gouds est souvent recouvert de « tarrouz », formation lacustre composée d'une argile calcaire (à diatomées ?) extrêmement fine, contenant des gastropodes d'eau douce tels que des planorbes, et des moules calcaires de roseaux. L'épaisseur de cette formation est très variable. Elle peut dépasser 3 m, mais est souvent bien moindre. Le tarrouz est une formation épisodique qui peut manquer complètement. Il pose au quaternariste certains problèmes que nous n'aborderons pas ici, les éléments de résolution nous faisant défaut.

(*) Communication orale de M. Soucy, Professeur à l'Université de Dakar.

L'EAU DANS LES TERRAINS ANTÉRIEURS AU CONTINENTAL TERMINAL

Aucun essai de nappe n'a été exécuté dans les terrains de l'Eocène et du Paléocène. Nous ne disposons donc d'aucun renseignement précis sur la présence de l'eau, encore moins évidemment sur sa qualité. Il est cependant possible de faire état de certaines indications indirectes.

ÉOCÈNE ET PALÉOCÈNE

Les alternances calcaro-marneuses rencontrées dans le Lutétien et dans le Paléocène renferment certainement un peu d'eau. On connaît au Sénégal de nombreux exemples de puits alimentés par des formations de ce genre. En Mauritanie même, dans l'Est du bassin sédimentaire, dans la région du Brakna, certains puits captent les calcaires, et marno-calcaires du Lutétien. Mais les débits que l'on peut espérer tirer de telles formations ne peuvent se comparer avec ceux que fournissent les sables du Continental Terminal. C'est a priori la raison pour laquelle l'investigation de ces niveaux ne fut pas envisagée. En outre l'examen du log de carottage électrique laisse à penser que l'eau qui imprègne ces terrains est d'une qualité insuffisante : la résistivité assez faible des passées les plus calcaires (25 ohm/m dans le Lutétien, moins de 20 dans le Paléocène) permet de conclure à la présence d'une eau relativement chargée.

Les argiles dures de l'Eocène inférieur semblent contenir une certaine quantité d'eau. Elles présentent une porosité indéniable et un pouvoir absorbant net. En outre la carotte prélevée dans cette formation a montré à l'air des phénomènes de dessiccation. Il est cependant bien évident que ce type d'aquifère est inexploitable.

MAESTRICHTIEN

On pouvait par contre, avant toute étude, fonder quelque espoir sur les terrains maestrichtiens. Bien connue au Sénégal, la nappe maestrichtienne n'avait pour ainsi dire jamais fait, en Mauritanie, l'objet d'une étude. Les sondages ayant atteint ce niveau y sont très rares, et si, jusque là, les résultats n'avaient pas été encourageants, on pouvait penser qu'à Idini il n'en irait peut-être pas de même.

L'étude géophysique ne nous laissait certes que peu d'espoir, mais l'intérêt présenté par cette reconnaissance nous a conduit à l'effectuer, même avec la quasi-certitude de ne pas trouver de ressources en eau intéressantes. Le caractère très argileux du Maestrichtien d'une part, le carottage électrique (maximums de résistivité à 15 ohm/m) d'autre part, auraient suffi à conclure. L'étude fut cependant poussée jusqu'au bout. Le trou fut crépiné, tubé, gravillonné, et équipé d'un émulseur. En dépit de la hauteur de la colonne d'eau (les crépines ayant été placées entre 435 et 455 m de profondeur, le niveau piézométrique s'est établi aux environs de 18 m), le débit obtenu fut insignifiant (700 l/h). Une opération de phosphatage permit tout au plus de le porter à 1 300 l/h. En outre l'analyse de l'eau devait révéler un résidu sec voisin de 17 g/l. Dans ces conditions toute investigation supplémentaire fut abandonnée.

Sans vouloir étendre à tout le bassin les résultats obtenus à Idini, il est permis de penser, à la suite de cette reconnaissance, que jamais la nappe maestrichtienne ne présentera en Mauritanie un intérêt aussi grand que celui qu'elle a au Sénégal.

L'EAU DANS LES FORMATIONS DU CONTINENTAL TERMINAL

Tous les terrains du Continental Terminal sont aquifères. Lors de l'exécution du sondage de reconnaissance d'Idini, des essais de nappe ont été effectués à divers niveaux. Ils ont révélé la présence d'eau aussi bien dans les grès souvent très argileux que dans les horizons sableux. Les débits obtenus ont évidemment été très variables, ainsi que les salures de l'eau. Mais le point important, à notre avis, mis en évidence par ces essais, a été la démonstration de l'imprégnation totale des terrains.

Toutefois, il ne pouvait être question de capter l'eau des horizons de grès argileux, trop peu perméables, et donc de les considérer comme des aquifères du point de vue de la pratique. On a ainsi été amené à ne distinguer dans le Continental Terminal que trois niveaux aquifères principaux. Le premier a son gisement dans les sables parfois argileux, à intercalations d'argiles, de la base du Continental Terminal. L'eau en est trop chargée pour pouvoir convenir aux besoins (le résidu sec en atteint 4 500 mg/l à Idini), si bien que l'étude de cet horizon ne fut pas poussée plus avant.

Les deux autres aquifères sont constitués par les sables supérieurs, situés au-dessus des grès argileux. Nous avons vu que ces sables sont séparés en deux ensembles par une couche argileuse. Nous reviendrons plus loin sur cette disposition qui présente dans la région une importance majeure. Qu'il nous suffise pour le moment d'indiquer qu'elle est responsable de la distinction de deux nappes — que nous appellerons « phréatique » et « sub-phréatique » — dont les caractéristiques sont très différentes.

Cette distinction est très nette dans la région étudiée. Nous verrons cependant qu'elle n'est pas absolue, et que rien ne nous permet de l'extrapoler à l'ensemble de la nappe du Trarza. Il serait peut-être plus juste de nous représenter cette dernière comme un corps unique pouvant à l'occasion présenter, et présentant effectivement dans la région d'Idini, des différenciations suffisamment marquées pour qu'on y puisse parler d'aquifères distincts, du moins à l'échelle d'une investigation hydrogéologique ou de pompages de durée relativement limitée.

Nous remarquerons ici que la première étude effectuée à Hassi el Bagra n'y avait reconnu que la nappe phréatique. La reconnaissance plus poussée faite à Idini avant les captages

a amené à la mise en valeur de la nappe sub-phréatique, dont l'eau est de meilleure qualité. En conséquence la première reconnaissance, bien que le principe n'en ait pas été erroné, était passée à côté d'un des problèmes majeurs de l'hydrogéologie de la région, et la valeur de ses conclusions a été réduite par les études ultérieures.

LES SABLES AQUIFÈRES

La nappe phréatique et la nappe sub-phréatique ont leur gisement dans des sables très similaires. Il s'agit très généralement de sables très hétérométriques, contenant une forte proportion d'éléments grossiers (grains de diamètre supérieur à 1 mm). Toutefois la partie fine n'en est nullement négligeable, si bien que, comme nous le verrons, la perméabilité n'atteint pas les valeurs qu'on pourrait lui supposer à la vue du sable grossier. La méthode de récupération des cuttings sur tamis risque d'ailleurs de faire illusion en ce domaine, et il est plus facile de surestimer la granulométrie des sables que de l'estimer correctement. Il va de soi que des analyses granulométriques effectuées sur des échantillons récupérés par cette méthode n'auraient pas grande signification, aussi n'en a-t-il pas été effectué.

Ces sables sont très argileux, mais là encore il est souvent difficile de se représenter correctement la proportion de matériau argileux que contient le terrain.

Une des caractéristiques les plus remarquables de ces aquifères en est l'hétérogénéité. Les corrélations sont assez aisées d'un forage à l'autre, mais on observe de nombreuses variations dans le faciès des sables, tant selon l'horizontale, que suivant la verticale où ce caractère est particulièrement net. L'exemple des ouvrages d'étude du front salé est particulièrement révélateur de ce fait : 2 piézomètres distants de 122 m ont recoupé tous deux un aquifère sub-phréatique composé en majeure partie de sables grossiers, tandis qu'un forage situé entre eux, à 50 m de l'un d'eux et à 72 m de l'autre, a traversé le même aquifère constitué essentiellement de sables fins.

Ceci peut certes laisser planer un doute sur la validité de certaines corrélations que nous avons faites entre des sondages distants parfois de 3 et 4 km. Toutefois, dans la pratique, ces corrélations sont plus que suffisantes pour établir la continuité des niveaux principaux.

Enfin il convient de signaler ici que les sables de l'aquifère sub-phréatique présentent des différenciations locales très argileuses. Ce point est important car de telles différenciations sont en relation quasi constante avec une élévation de la salure de l'eau. Il sera évoqué avec beaucoup plus de détail lors de l'étude de la salure de la nappe sub-phréatique et de celle du front salé.

LA COUCHE INTERMÉDIAIRE D'ARGILE

Entre les deux niveaux qui contiennent, l'un la nappe phréatique, l'autre la nappe sub-phréatique, se trouve un niveau de très faible perméabilité quasi continu. Il est commode à son sujet de parler d'une « couche d'argile », mais en fait sa composition est loin d'être

WNW

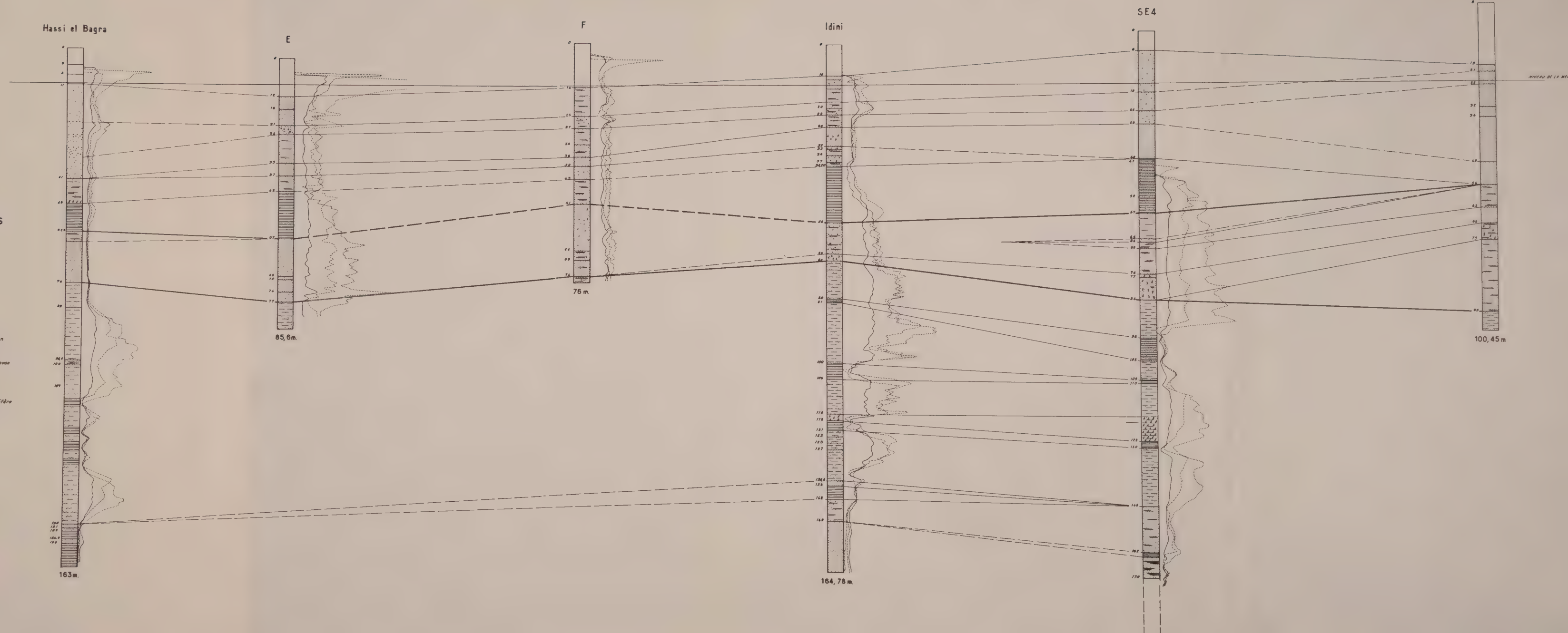
ESE

SE 5

ÉTUDE HYDROGÉOLOGIQUE DANS LA RÉGION D'IDINI
EN VUE DE L'ALIMENTATION EN EAU DE NOUAKCHOTT
(RÉPUBLIQUE ISLAMIQUE DE MAURITANIE)

COUPE GÉNÉRALE DES TERRAINS SELON LE PROFIL HASSI EL BAGRA - IDINI - SE5

Corrélations géologiques et électriques

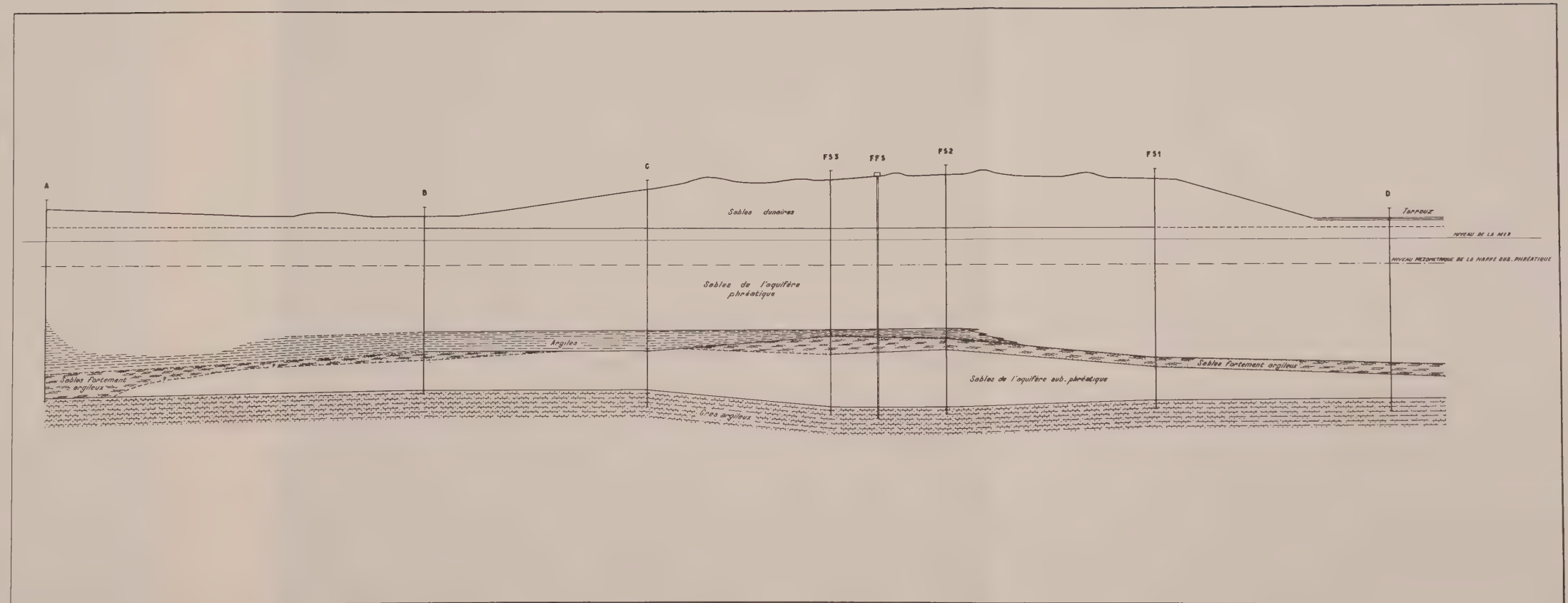


ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DANS LA REGION D'IDINI
EN VUE DE L'ALIMENTATION EN EAU DE NOUAKCHOTT
(REPUBLIQUE ISLAMIQUE DE MAURITANIE)

COUPE DÉTAILLÉE DES NIVEAUX SUPÉRIEURS DU CONTINENTAL TERMINAL DANS LA RÉGION D'HASSI EL BAGRA

ÉCHELLE: 1/2.500
50 0 50 100 150 200 m
Échelle verticale: 1/1.000

FIG. 5.



constante. Il est certes essentiellement argileux, mais peut à l'occasion contenir une proportion non négligeable de sables fins. Lors du forage du sondage de reconnaissance d'Idini, il a pu même être décrit comme un « grès argileux à passées d'argile ». Il n'a pas, par la suite, été possible de confirmer cette diagnose, qui présente d'ailleurs en pratique un intérêt assez réduit.

Nous avons pu un certain temps penser que ce niveau, qui forme le toit de la nappe sub-phréatique, était continu. La suite de l'investigation a montré qu'il présente en fait une allure quelque peu lenticulaire. La coupe générale le long du profil de sondages (fig. 4) le montre clairement. Elle montre l'existence de 2 lentilles situées l'une entre Hassi el Bagra et le piézomètre F (à quelque 3 km à l'Ouest d'Idini), l'autre s'étendant d'un point situé entre le piézomètre F et Idini jusqu'à l'Est de SE 4. La couche d'argile est donc interrompue à l'emplacement du piézomètre F qui a traversé à sa place des sables fins assez fortement argileux, mais qui doivent cependant posséder une perméabilité non négligeable. Ce point sera évoqué plus loin lors de l'étude de la salure de la nappe sub-phréatique.

Nous ignorons ce que devient ce niveau vers l'Est. Le piézomètre SE 5, situé à environ 8 km à l'Est d'Idini, ne l'a pas recoupé. Nous verrons d'ailleurs tout à l'heure que la coupe de ce dernier ouvrage laisse présager des changements assez marquants dans l'hydrogéologie de la région.

Il est certain en outre que la critique de nos corrélations que nous avons faite plus haut s'applique encore au cas de la couche d'argile. L'étude détaillée du front salé a en effet révélé des variations de détail plus nombreuses que celles qu'avait montrées le profil de sondages Hassi el Bagra-SE 5. La coupe détaillée de cette zone (fig. 5) montre en effet que cette couche est relayée par un horizon de sables fins extrêmement argileux qui tantôt lui est sous-jacente, tantôt la remplace. Nous estimons cependant qu'il s'agit là simplement de variations locales dans un même épisode sédimentaire fondamentalement argileux.

CONCLUSION

Nous nous résumerons de la façon suivante : dans les limites de la région étudiée les deux nappes des niveaux supérieurs du Continental Terminal sont contenues dans une série constituée de deux épisodes sableux localement plus argileux, séparés par un épisode argileux, localement plus sableux. Ce dernier épisode est responsable de la distinction de deux nappes, mais il n'est pas absolument continu.

Cette distinction est très nette dans la région d'Idini, mais nous ne saurions l'extrapoler plus vers l'Est. En effet le piézomètre SE 5 n'a pas traversé la couche d'argile, et en outre à cet emplacement apparaissent, à la base de l'aquifère, 22 m de sables fins légèrement argileux qu'il est impossible de corrélérer avec la coupe des autres ouvrages. Nous sommes porté à penser que ces variations sont l'indice de changements importants de la constitution des niveaux supérieurs du Continental Terminal. En conséquence les résultats et les conclusions dont nous faisons état ne sont strictement valables que pour la région étudiée.

LES CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES DE L'AQUIFÈRE SUB-PHRÉATIQUE

Dans ce qui va suivre nous ne traiterons que de l'aquifère et de la nappe sub-phréatiques, objets de l'étude. Nous ne parlerons de la nappe phréatique qu'occasionnellement, pour montrer en quoi elle diffère de la précédente, et quels genres de relations elle a avec elle.

Les divers sondages sur lesquels nous nous basons ont montré que l'aquifère sub-phréatique, s'il représente un niveau très continu et bien individualisé, est loin d'avoir des caractéristiques géométriques constantes. Compte tenu des approximations de tous ordres que suppose un tel calcul, nous avons été amené, lors de l'évaluation des réserves, à lui attribuer une puissance moyenne de 20 m. Cette simplification ne doit pas faire perdre de vue le fait que cette épaisseur varie considérablement. Elle n'est que de 10 m à Idini même, alors que plus vers l'Est elle atteint et même dépasse 40 m.

Nous avons, à partir des données des forages, établi 3 cartes. La première porte les isohypses du mur de l'aquifère (toit des grès argileux), la seconde les isohypses du toit de l'aquifère (mur de la « couche d'argile »). Les considérations qui ont été développées au chapitre des méthodes sur l'imprécision de certaines façons de faire prennent ici toute leur valeur. Il en est surtout ainsi pour la troisième carte, carte des isopaches de l'aquifère, que nous avons construite à partir des deux premières. On devra garder à l'esprit le caractère largement interprétatif de ces cartes. Leur manque de précision et les hypothèses qu'elles reflètent implicitement ne diminuent cependant pas à nos yeux leur intérêt comme premier moyen d'approche de la réalité.

La carte des isohypses du mur de l'aquifère (fig. 6) nous montre une forme en selle de cheval, avec un axe haut, orienté grosso modo NE-SW et passant par Idini. Les altitudes de cet axe sont comprises entre —55 et —70 m (altitudes absolues par rapport au niveau de la mer). Vers le NW et vers le SE, de part et d'autre de l'axe haut, le toit des grès s'abaisse en-dessous de —70 m. Enfin, vers l'Ouest le mur de l'aquifère se relève et atteint —60 m, les courbes dessinant dans cette zone une inflexion vers le Nord.

La carte des isohypses du toit de l'aquifère (fig. 7) présente une allure quelque peu différente. Les courbes y dessinent 2 rides *grosso modo* parallèles, et orientées NE-SW,

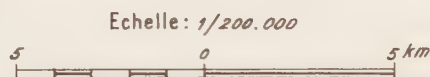
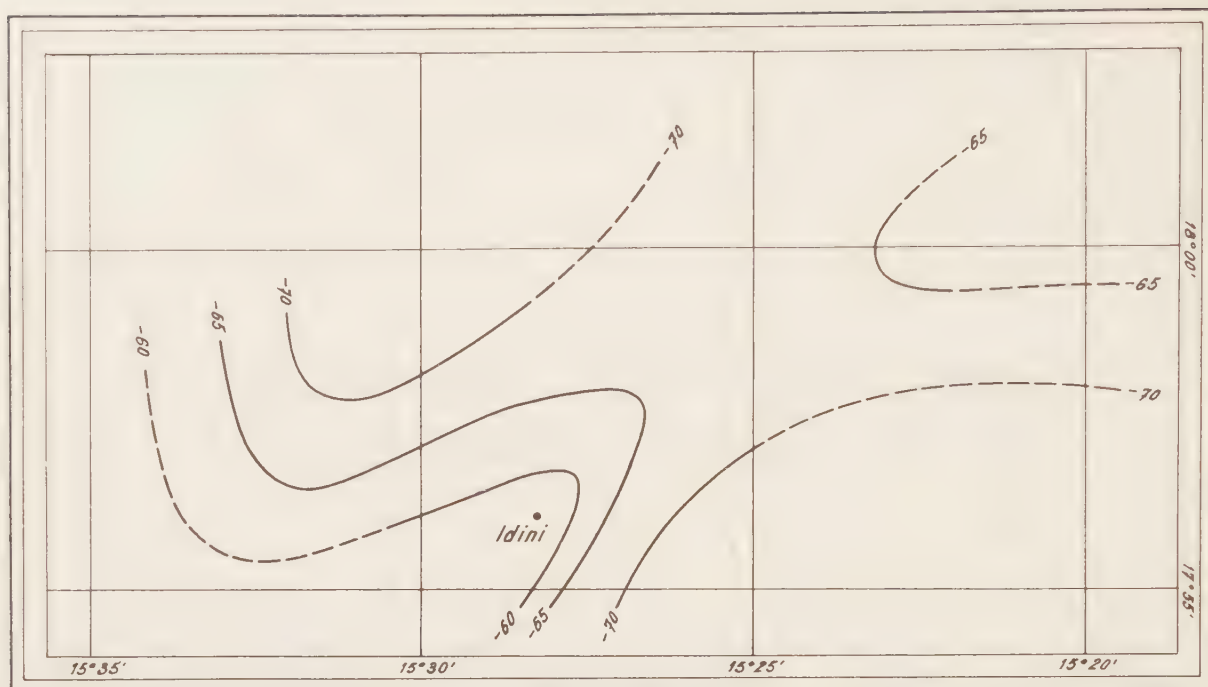


FIG. 6.

CARTE DES ISOHYPSSES
DU MUR DE L'AQUIFÈRE SUB-PHRÉATIQUE

rides dont l'axe plonge vers le NE où l'altitude s'abaisse en-dessous de -60 m, tandis que dans le Sud elle est de l'ordre de -35 à -40 m.

La carte des isopaches (fig. 8), déduite des deux précédentes, offre un aspect complexe. A l'Est d'une ligne à peu près NE-SW passant par Idini, les courbes sont parallèles et traduisent une augmentation d'épaisseur assez régulière du NW au SE, de 5 à 40 m. A l'Ouest de la même ligne, à une tendance du même ordre, mais orientée du NE au SW, s'ajoute un infléchissement des isopaches vers l'Ouest, puis vers le Sud. Ces courbes, à concavité tournée vers le Sud, indiquent une augmentation d'épaisseur centripète vers un point situé au SW d'Idini. Enfin, au Nord de la station de production, une zone d'épaisseur à peu près constante se traduit par un dédoublement de la courbe 15 m qui dessine une sorte d'ovale fermé.

Il ne nous semble pas judicieux d'épiloguer longuement sur ces formes, vu le caractère dans une certaine mesure aléatoire de leur dessin. Il nous semble cependant qu'elles doivent refléter, comme le fait l'hétérogénéité des dépôts, une assez grande complexité dans les conditions de mise en place des sédiments du Continental Terminal.

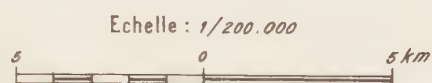
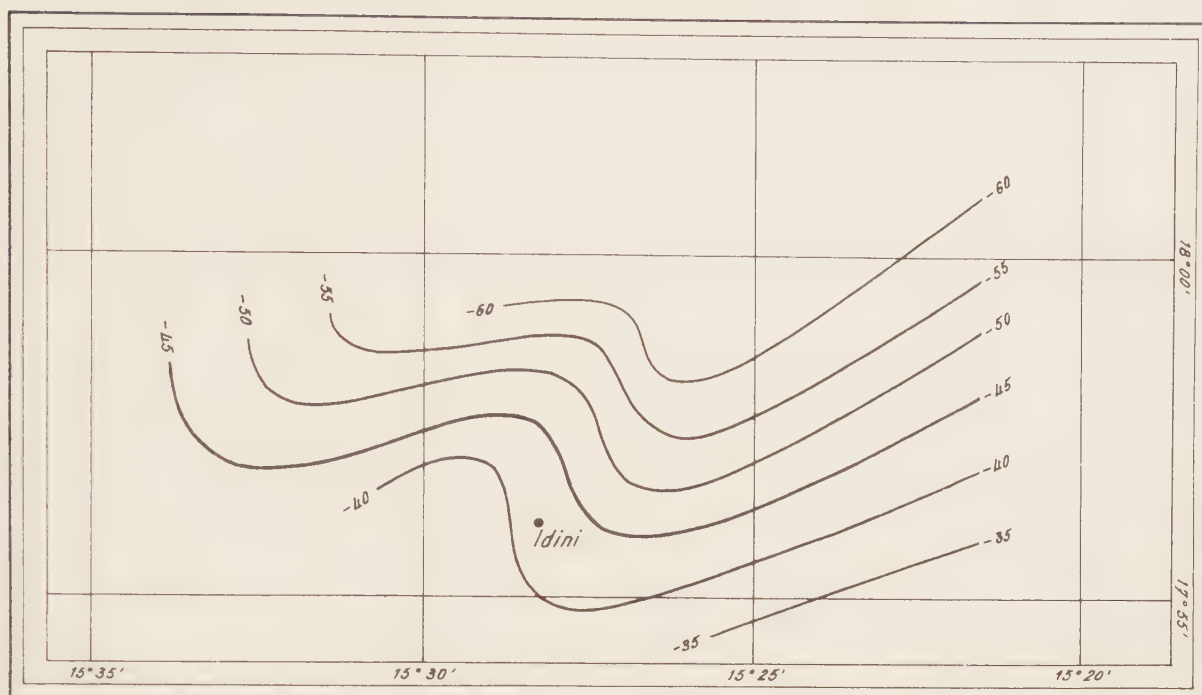
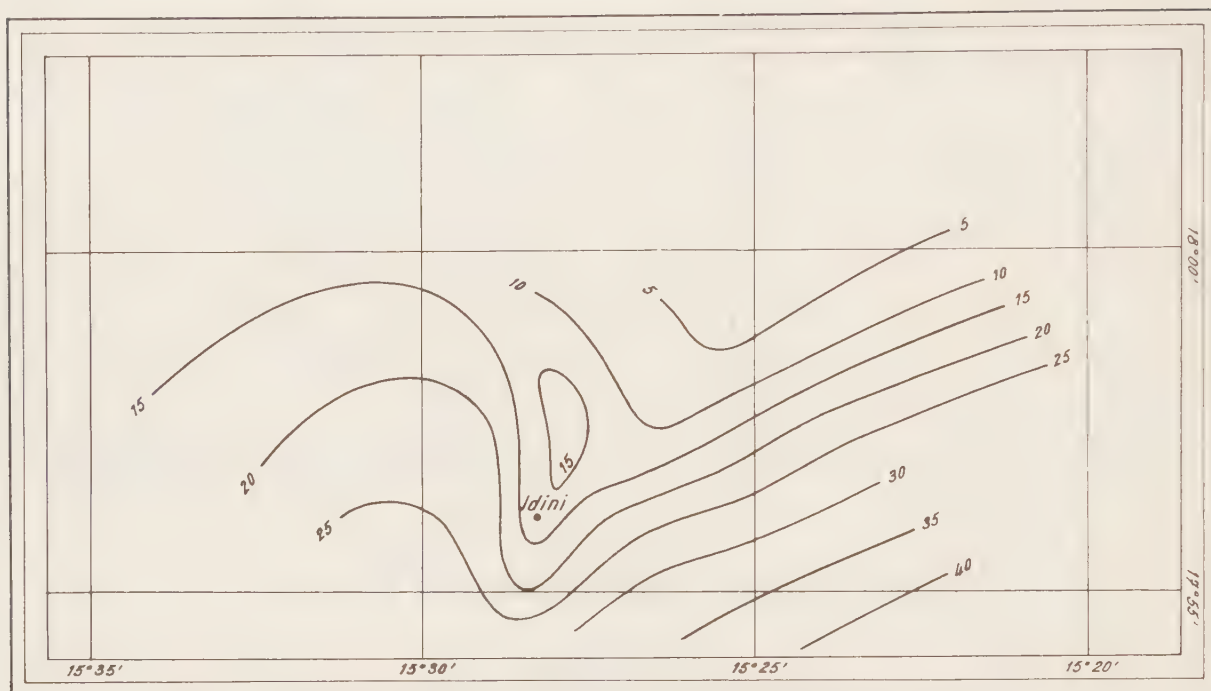


FIG. 7.
CARTE DES ISOHYPSSES
DU TOIT DE L'AQUIFÈRE SUB-PHRÉATIQUE

Il nous a paru intéressant de chercher à rendre plus claires les indications des cartes en construisant à partir de là des blocs-diagrammes de l'aquifère (fig. 9 et 10). Nous ne les détaillerons pas puisque aussi bien ils sont déduits des cartes précédentes. Remarquons simplement combien ils soulignent l'amincissement de l'aquifère vers le Nord et au contraire son développement vers le Sud, et surtout vers le Sud-Est.



Echelle: 1/200.000



FIG. 8.
CARTE DES ISOPACHES
DE L'AQUIFÈRE SUB-PHRÉATIQUE

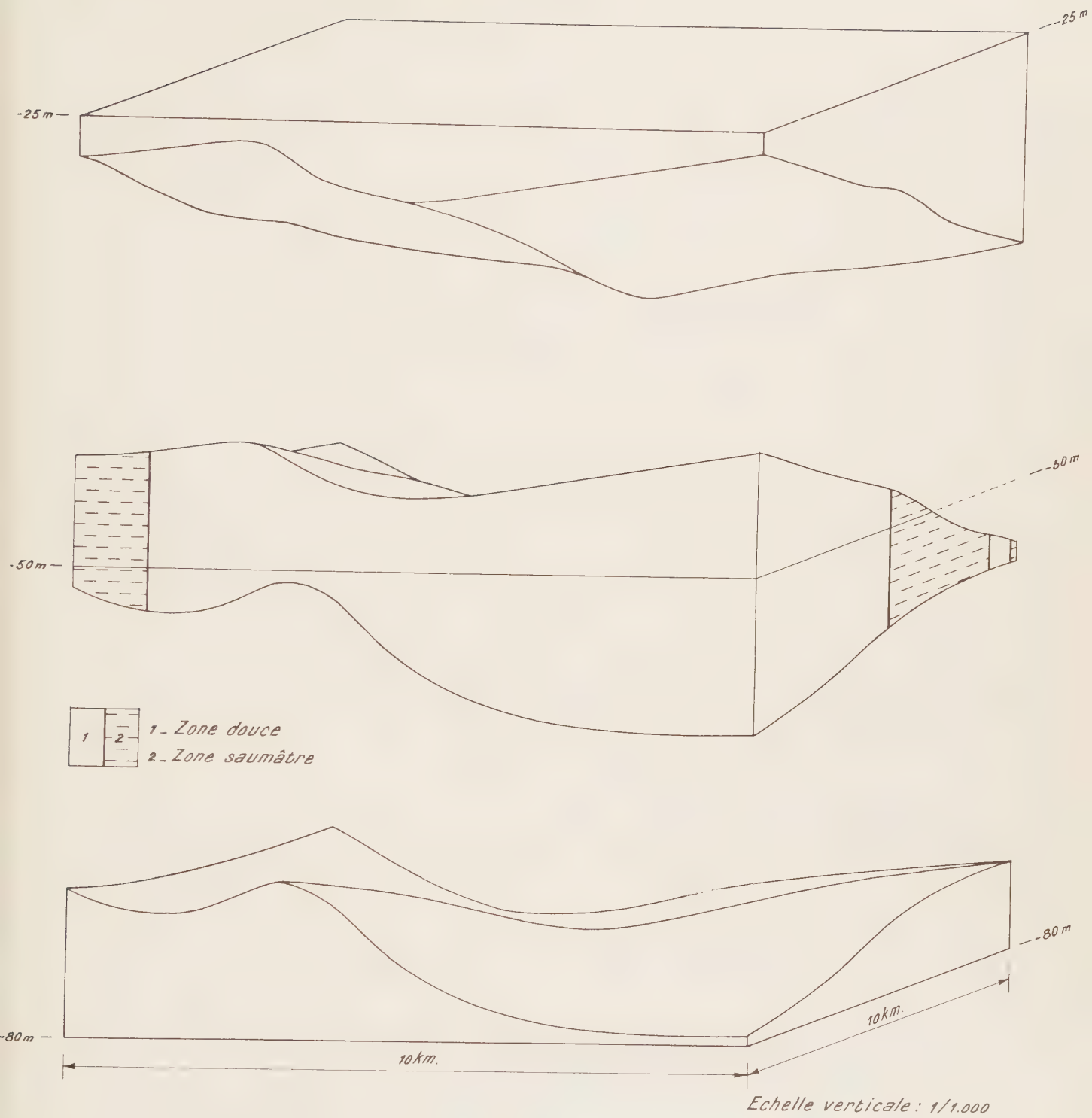


FIG. 9.
BLOC-DIAGRAMME ÉCLATÉ DE L'AQUIFÈRE
SUB-PHRÉATIQUE - VUE DU SUD VERS LE NORD

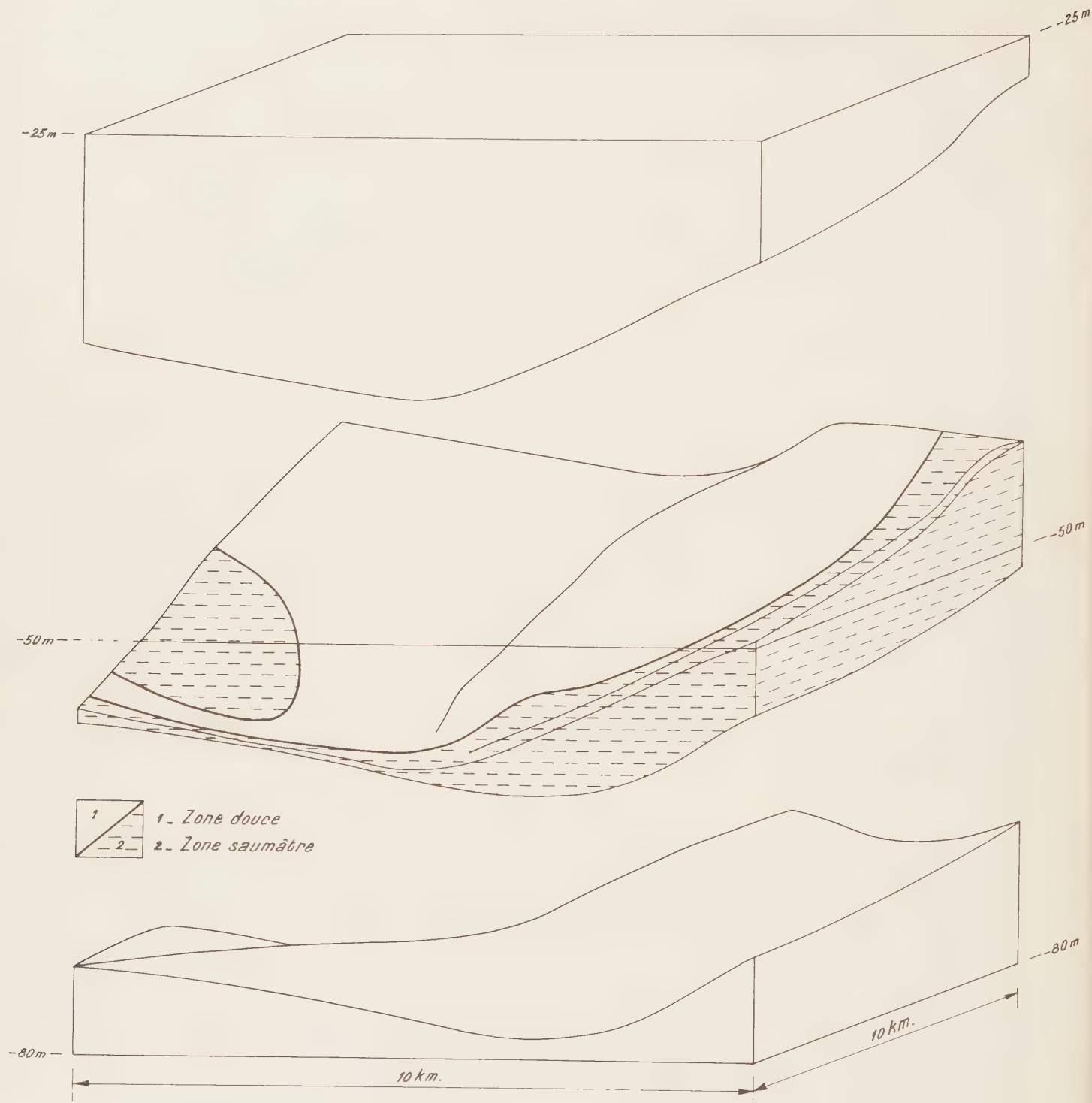


FIG. 10.

BLOC-DIAGRAMME ÉCLATÉ DE L'AQUIFÈRE
SUB-PHRÉATIQUE - VUE DU NORD VERS LE SUD

LES CARACTÉRISTIQUES HYDRAULIQUES DE L'AQUIFÈRE SUB-PHRÉATIQUE

Outre les considérations sur le mode de gisement de l'eau, c'est le calcul des paramètres hydrauliques qui nous a amené pour la première fois à soupçonner que la nappe étudiée à Hassi el Bagra lors de la première campagne de reconnaissance, et la nappe captée à Idini pouvaient n'avoir rien de commun.

La nappe étudiée à Hassi el Bagra était une nappe libre, de caractéristiques :

$$T = 36 \text{ m}^2/\text{h}$$

$$S = 5 \%$$

La nappe captée à Idini est au contraire une nappe captive, et la première détermination de ses caractéristiques donnait les valeurs suivantes :

$$T = 10 \text{ m}^2/\text{h environ}$$

$$S = 1 \text{ ‰}$$

La découverte de la distinction des deux nappes, phréatique et sub-phréatique, devait expliquer cette divergence. Par la suite nous devons saisir toutes les occasions pour effectuer, sur la nappe sub-phréatique, des essais permettant d'évaluer transmissivité et coefficient d'emmagasinement.

LES ESSAIS EFFECTUÉS SUR LA NAPPE SUB-PHRÉATIQUE

1° En février, mars et avril 1962, dans le cadre de la surveillance exercée par le B.R.G.M., le prospecteur chargé des observations a effectué des mesures de descente et de remontée du niveau de l'eau dans les ouvrages d'Idini. Ces opérations n'ont pas été conduites avec toute la rigueur qu'on attend d'essais de pompage, mais les résultats s'en sont cependant révélés utilisables. Nous avons exploité les mesures d'avril 1962, les seules où le niveau de l'eau ait été mesuré dans le piézomètre P 1 (8).

2° Lors de notre tournée de contrôle de janvier 1963, nous avons exécuté un essai sur les forages d'Idini. Nous avons pour cela profité d'arrêts des pompages qui n'avaient lieu à cette époque qu'environ 18 heures par jour. En dépit des conditions peu favorables de réalisation de ces essais (la nappe n'a pas eu le temps de retrouver son niveau initial au cours des arrêts), nous avons obtenu des résultats satisfaisants qui ont établi *a posteriori* la validité des essais cités au paragraphe précédent.

3° Le forage d'Hassi el Bagra (H el B) a été l'objet d'essais de pompage au cours de notre première campagne d'étude (9). Les niveaux d'eau ont été mesurés dans le forage et dans les piézomètres A, B et C. Nous reviendrons tout à l'heure sur les conditions de réalisation de ces essais, qui ont été très peu satisfaisantes. Ils ont cependant fourni des résultats non négligeables. En outre, l'exploitation d'Idini étant passée à 24 h. jour à partir de novembre 1963, une analyse sommaire de l'état de la station en mars 1964 nous a permis d'évaluer globalement la transmissivité de l'aquifère, dans cette région. Nous allons revenir sur la validité de cette détermination.

4° Dans le cadre de l'étude du « front salé », des pompages ont été exécutés dans le forage FFS. Le but de cette opération n'était pas la détermination des paramètres de l'aquifère, mais nous l'avons cependant mise à profit pour cela. Les résultats obtenus ayant été assez aberrants, nous avons par la suite effectué un nouvel essai à débit moindre (20 m³/h au lieu de 40). (11)

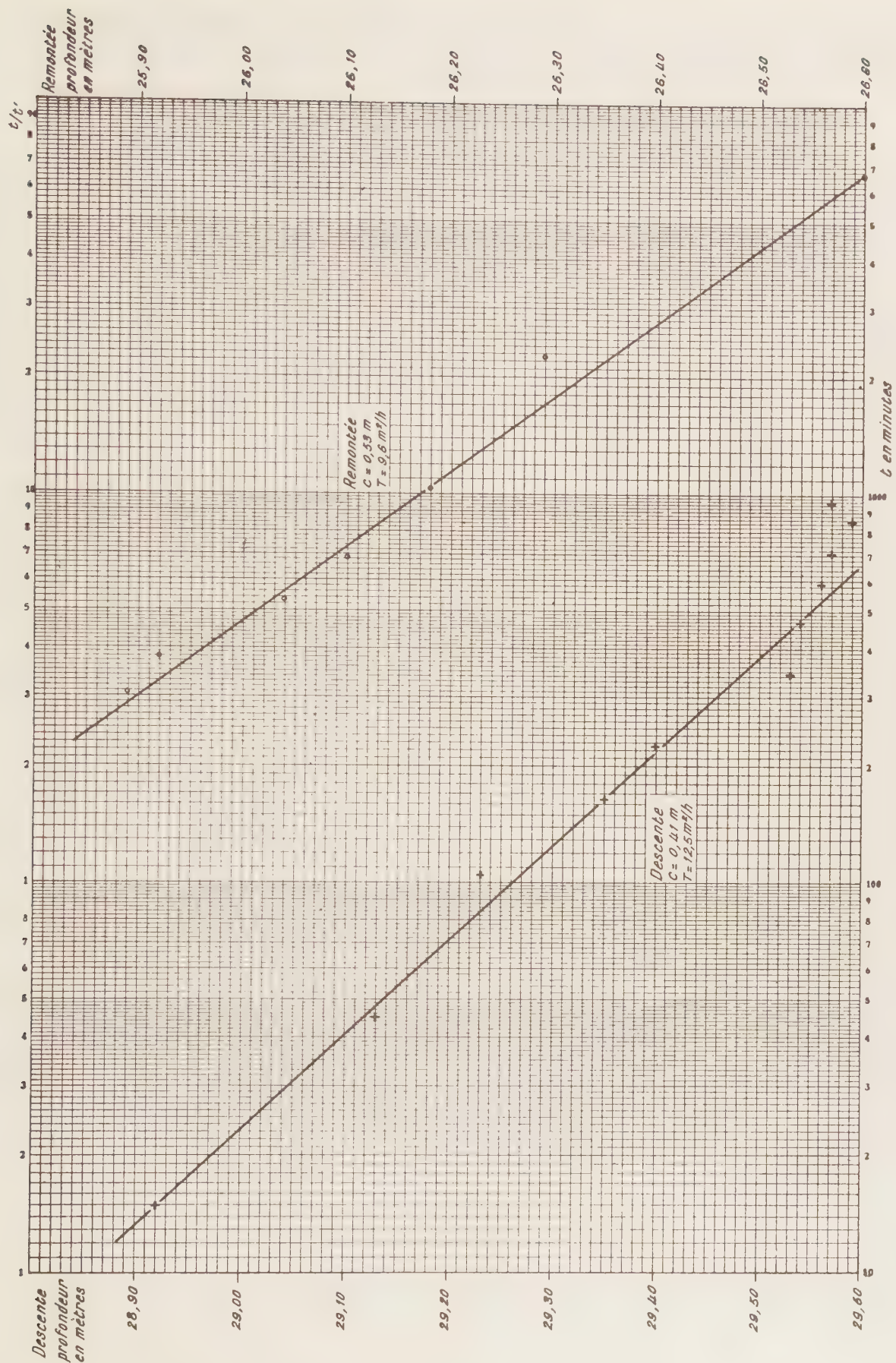


FIG. 11.
 DIAGRAMME SEMI-LOGARITHMIQUE DE LA DESCENTE ET DE LA REMONTÉE
 DU FORAGE F1 EN AVRIL 1962

Profondeur du niveau d'eau en mètres
NP

DIAGRAMME SEMI-LOGARITHMIQUE DE LA DESCENTE DU PIÉZOMÈTRE FS3 LE 25 FÉVRIER 1965

$Q = 20 \text{ m}^3/\text{h}$
 $C = 0,118 \text{ m}$
 $T = 31 \text{ m}^2/\text{h}$
 $t_0 = 0,51 \text{ mn}$
 $x = 50 \text{ m}$
 $S = 0,14 \text{ ‰}$

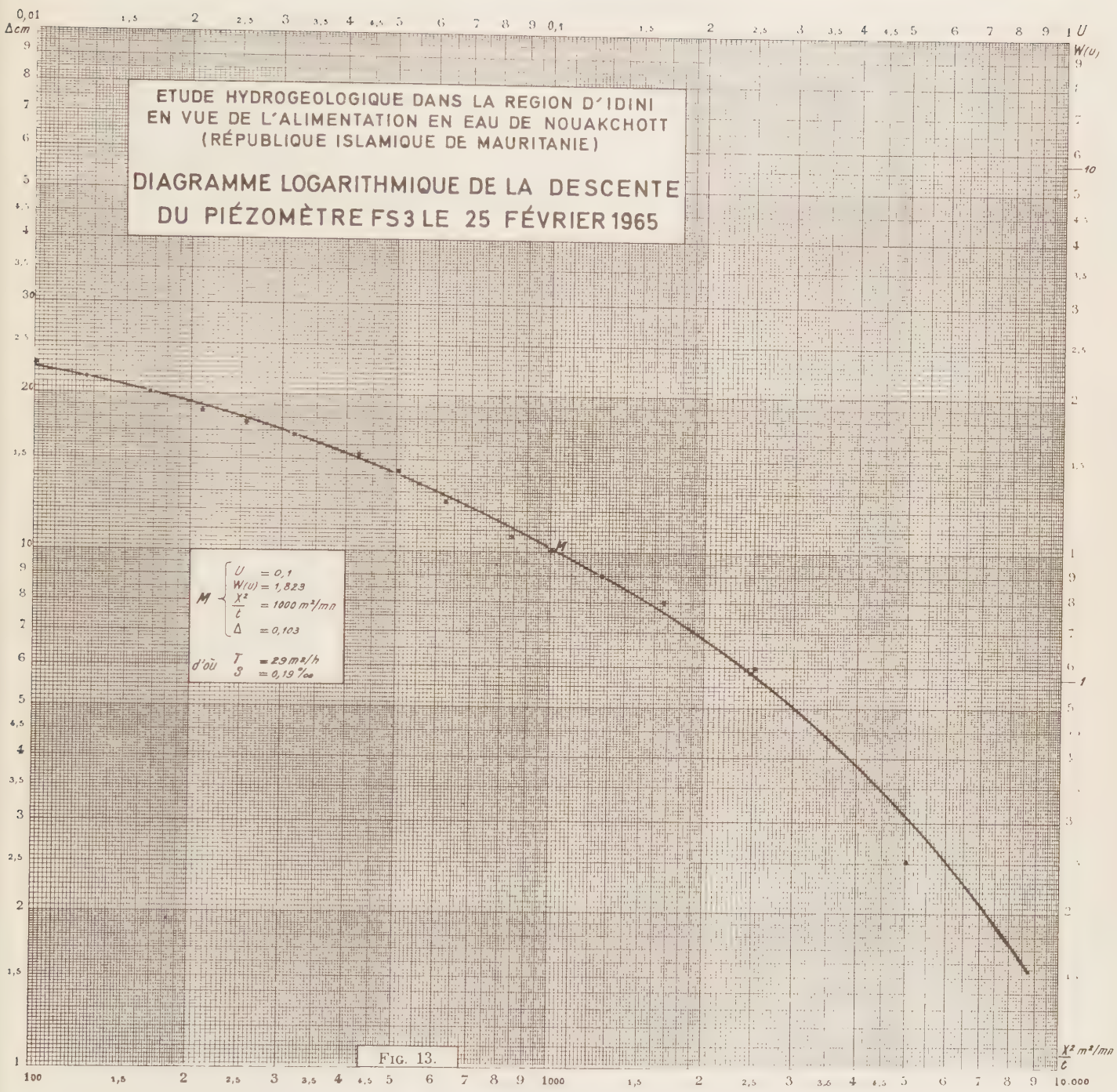
Fig. 12.

2 3 4 5 6 7 8 9 10

2 3 4 5 6 7 8 9 10²

2 3 4 5 6 7 8 9 10³

2 3 4 5 6 7 8 9 10⁴
t en minutes



RÉSULTATS DES ESSAIS

Le tableau ci-dessous consigne les résultats bruts obtenus à partir des divers essais. Nous en discuterons ensuite la validité.

Ouvrage testé	Date	Débit m ³ /h	T en m ² /h		S (‰)	K m/h	Méthode*
			Descente	Remontée			
F 1	4-62	28,0	12,5	9,6		1	App log
	11-1-63	27,75	12,3	10,6		1	App log
F 2	4-62	27,55	14,2	11,6		1,2	App log
	11-1-63	?		9,6/20,5		1,2	App log
P 1	4-62		9,6	8	0,97	0,9	App log
	11-1-63		5,8	8,5/5,9	1,1	0,9	App log
Idini**	3-64	30,6	19,5				App log
C	5-64	15	25		0,25	1,2	Type curve
	25-2-65	40	48,1 ?		0,27	3 ?	App log
H el B*** ..	5-64	15	21,5		0,36	1	$\Delta/\log x$
FFS	1-2-65	40		12,2		0,5	App log
FS 1	22-1-65	40	85,1			6 ?	App log
FS 2	22-1-65	40	58,6		0,74	2 ?	App log
	25-2-65	20	50,8		0,47	1,7	App log
	25-2-65	20	36		0,65	1,5	Type curve
	26-2-65	20		48,8		1,7	App log
FS 3	22-1-65	40	47,5		0,23	2,2	App log
	25-2-65	20	31		0,14	1,5	App log
	25-2-65	20	29		0,19	1,3	Type curve
	26-2-65	20		32,1		1,5	App log

(*) La colonne « méthode » indique la méthode d'interprétation utilisée : App log signifie méthode d'approximation logarithmique; Type curve méthode de la courbe standard; et $\Delta/\log x$ méthode de la droite rabattements/logarithmes des distances.

(**) Il s'agit ici de l'ensemble de la station d'Idini. La transmissivité a été calculée à partir du rabattement dans le piézomètre P 1 après quatre mois de pompage continu.

(***) Il s'agit ici de l'ensemble de la station d'essai d'Hassi el Bagra.

Les figures 11, 12 et 13 donnent des exemples des diagrammes interprétatifs des essais.

REMARQUE SUR LA CONDUITE DES ESSAIS

Les pompages effectués sur le forage FFS, tant à 20 m³/h qu'à 40 m³/h, ont montré un phénomène non conforme à la théorie de Theis. Après une descente normale pendant quelques heures, le niveau de l'eau s'est stabilisé, aussi bien dans les piézomètres que dans le

Papier pour HWK. P 10. diam 122 mm 1 jour

Nom du lieu: **HASSI EL BAGRA**

Bureau de Recherches Géologiques et Minières

Echelle des temps: 1 Intervalle = 1 heure (rotation en 1 jour)

Echelle des hauteurs: 1/5

Echelle des hauteurs: 1 : 20 = 1 intervalle Δ 4 cm de variation du niveau d'eau
Echelle des hauteurs: 1 : 15 = 1 intervalle Δ 3 cm de variation du niveau d'eau
Echelle des hauteurs: 1 : 10 = 1 intervalle Δ 2 cm de variation du niveau d'eau
Echelle des hauteurs: 1 : 5 = 1 intervalle Δ 1 cm de variation du niveau d'eau

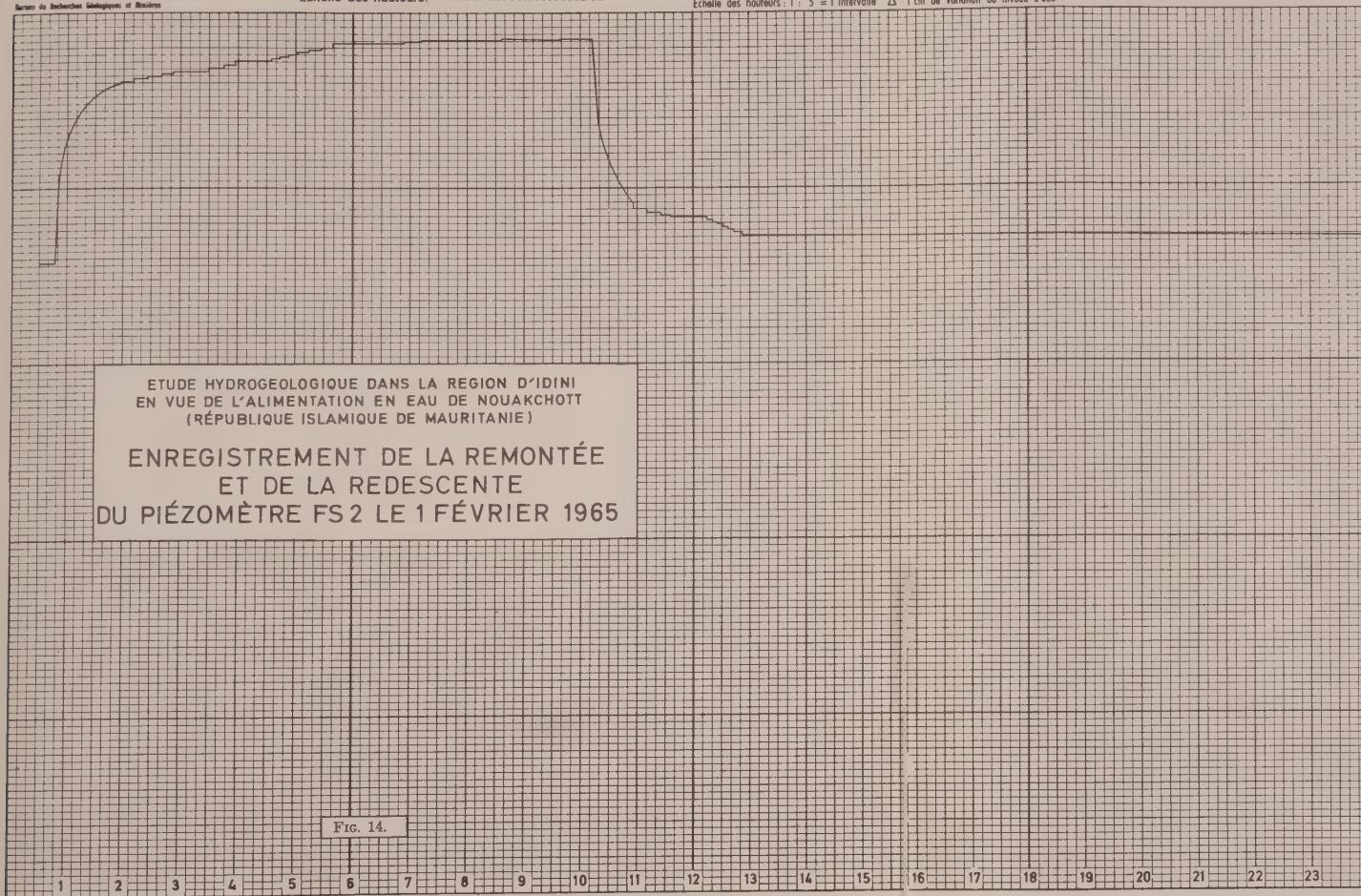
enlevé le: **2 Février 1965 à 8 h 00**

installé le: **1 Février 1965 à 8 h 30**

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DANS LA REGION D'IDINI
EN VUE DE L'ALIMENTATION EN EAU DE NOUAKCHOTT
(RÉPUBLIQUE ISLAMIQUE DE MAURITANIE)

**ENREGISTREMENT DE LA REMONTÉE
ET DE LA REDESCENTE
DU PIÉZOMÈTRE FS2 LE 1 FÉVRIER 1965**

Fig. 14.



forage (fig. 14). Puis le niveau s'est maintenu (cas des pompages à 40 m³/h) pendant 10 jours, sans que des variations sensibles aient pu être mises en évidence. Les pompages à 20 m³/h ont même montré une complication du phénomène : au lieu d'une stabilisation absolue on a constaté des oscillations du niveau de l'eau autour d'une position moyenne.

Lors des pompages effectués sur le forage H el B, nous avons observé le même phénomène. Nous avons cru alors pouvoir attribuer la stabilisation à l'influence de pertes de charge anormales au voisinage du forage. Ces pertes étaient dues à un colmatage de l'aquifère par la boue de forage. Une explication similaire pourrait encore être avancée à propos de FFS, puisque la perméabilité du terrain paraît bien inférieure aux abords du puits à ce qu'elle est aux emplacements des piézomètres. Mais, si l'on conçoit assez bien que de telles pertes de charge puissent réduire le débit dont est capable un forage, on se représente mal comment elles pourraient occasionner une stabilisation des niveaux.

On peut remarquer que les conditions de gisement de la nappe sont assez éloignées des conditions théoriques d'emploi de la formule de Theis (terrain non homogène et non isotrope, épaisseur variable de l'aquifère, substratum non horizontal). Si on peut penser qu'alors la nappe ne réagit pas conformément à la théorie, ceci ne suffit pas à expliquer le phénomène observé.

Nous avons émis l'hypothèse que cette stabilisation était en fait un palier de descente, correspondant à un phénomène d'alimentation différée, selon la conception de BOULTON (4). Les oscillations constatées près de FFS seraient à rapporter à des variations de la pression atmosphérique. M. BERKALOFF, de la Direction Scientifique du B.R.G.M., a calculé que dans les conditions de FFS, la durée du palier de BOULTON serait comprise entre 100 et 1 000 h. Les nécessités d'entretien du matériel nous imposant un arrêt du pompage tous les 10 jours, il n'a pas été possible de confirmer, ni d'infirmer, cette façon de voir.

Cependant il est à remarquer que les essais effectués à Idini tant en 1962 qu'en 1963, montrent à la fin une amorce de stabilisation analogue à celles qui ont été observées à Hassi el Bagra (fig. 11). En outre la comparaison des niveaux du piézomètre P 1 à diverses époques laisse à penser qu'un phénomène du même genre se manifeste en grand sur la station d'Idini :

— au cours de la période de pompages discontinus le niveau atteint après des temps voisins restait à peu près le même :

— le 28-4-62, après 16 h de pompage à 54/56 m ³ /h	14,67 m
— le 11-1-63, après 12 h de pompage à 54 m ³ /h	14,54 m
— le 12-1-63, après 11 h de pompage à 54 m ³ /h	14,54 m

— à partir du 16-11-63 l'exploitation a été portée à 61,2 m³/h. Les niveaux mesurés par la suite ne montrent pas une descente continue avec le temps :

— le 16-4-64, après 5 mois de pompage continu	15,02 m
— le 16-2-65, après 15 mois de pompage continu	14,98 m
— le 3-3-65, après 15,5 mois de pompage continu	14,85 m

Il est donc très difficile de se prononcer sur la signification du phénomène dont nous avons été témoin. En tous cas il n'est pas possible de l'expliquer par une réalimentation. Il n'y a pas dans cette région de cours d'eau qui pourrait l'occasionner. Quant à la réalimentation par l'eau pompée elle est également exclue. Dans le cas des forages d'Idini c'est évident. Et lors des pompages sur le forage H el B, nous avons pu constater que des piézomètres à la nappe phréatique n'étaient pas influencés, l'eau, pourtant rejetée tout près, ne les atteignait donc pas. Encore moins eut-elle pu regagner la nappe sub-phréatique.

VALIDITÉ DES DÉTERMINATIONS

Le caractère peu satisfaisant de certains des essais laisse planer un doute sur la validité de nos déterminations. En outre certaines des valeurs trouvées apparaissent de toute évidence aberrantes. C'est le cas en particulier pour la transmissivité de C et de FS 1 lors des pompages à 40 m³/h dans le forage FFS.

Nous estimons cependant qu'il y a entre toutes les autres déterminations un accord satisfaisant, et que nous pouvons retenir certaines valeurs comme représentant un ordre de grandeur valable des paramètres hydrauliques.

Transmissivité et perméabilité.

La transmissivité dans la région d'Idini apparaît comme voisine de 10 m²/h. Les variations constatées, par exemple pour F 2, le 11 janvier 1963, doivent s'expliquer par les variations de puissance de la couche aquifère. Nous retiendrons comme valeur moyenne de la perméabilité dans cette zone $K = 1$ m/h environ.

Dans la région d'Hassi el Bagra, compte tenu des variations de détail dans la nature du terrain aquifère, la perméabilité apparaît comme légèrement plus élevée qu'à Idini. La valeur moyenne de la transmissivité est de l'ordre de 30 m²/h, pour une épaisseur moyenne voisine de 20 m. La valeur de la perméabilité est donc d'environ 1,5 m/h.

Ces différences ne doivent pas nous étonner, étant donné la grande hétérogénéité de détail des terrains du Continental Terminal, et il est vraisemblable que des essais réalisés en d'autres points de la région nous apporteraient des résultats encore différents.

Coefficient d'emmagasinement.

Les divergences dans la détermination du coefficient d'emmagasinement nous paraissent de prime abord moins faciles à comprendre que celles de la perméabilité. Ce paramètre dépendant des conditions de pression qui règnent dans l'aquifère, il semblerait qu'on devrait trouver des valeurs beaucoup plus groupées. Mais d'une part nous ne savons pas grand chose de la façon dont s'effectuent les transmissions de pression dans un tel milieu, et d'autre part les valeurs trouvées restent malgré tout toujours d'un ordre de grandeur comparable.

Nous retiendrons donc comme valeurs moyennes du coefficient d'emmagasinement :

— à Idini : 1 ‰

— à Hassi el Bagra : 0,2 à 0,3 ‰.

LA FORME DE LA NAPPE SUB-PHRÉATIQUE

Les remarques faites précédemment sur la précision des cartes d'isohypses et d'isopaches de l'aquifère sub-phréatique gardent encore toute leur valeur pour la carte isopiéziométrique de la nappe. En fait il eut été à peu près impossible d'en dresser une si, outre les données fournies par les mesures de niveau, nous ne nous étions pas appuyé sur certaines hypothèses. Nous espérons montrer que celles-ci ne sont pas illogiques, et que les résultats auxquels elles ont permis d'aboutir sont assez cohérents.

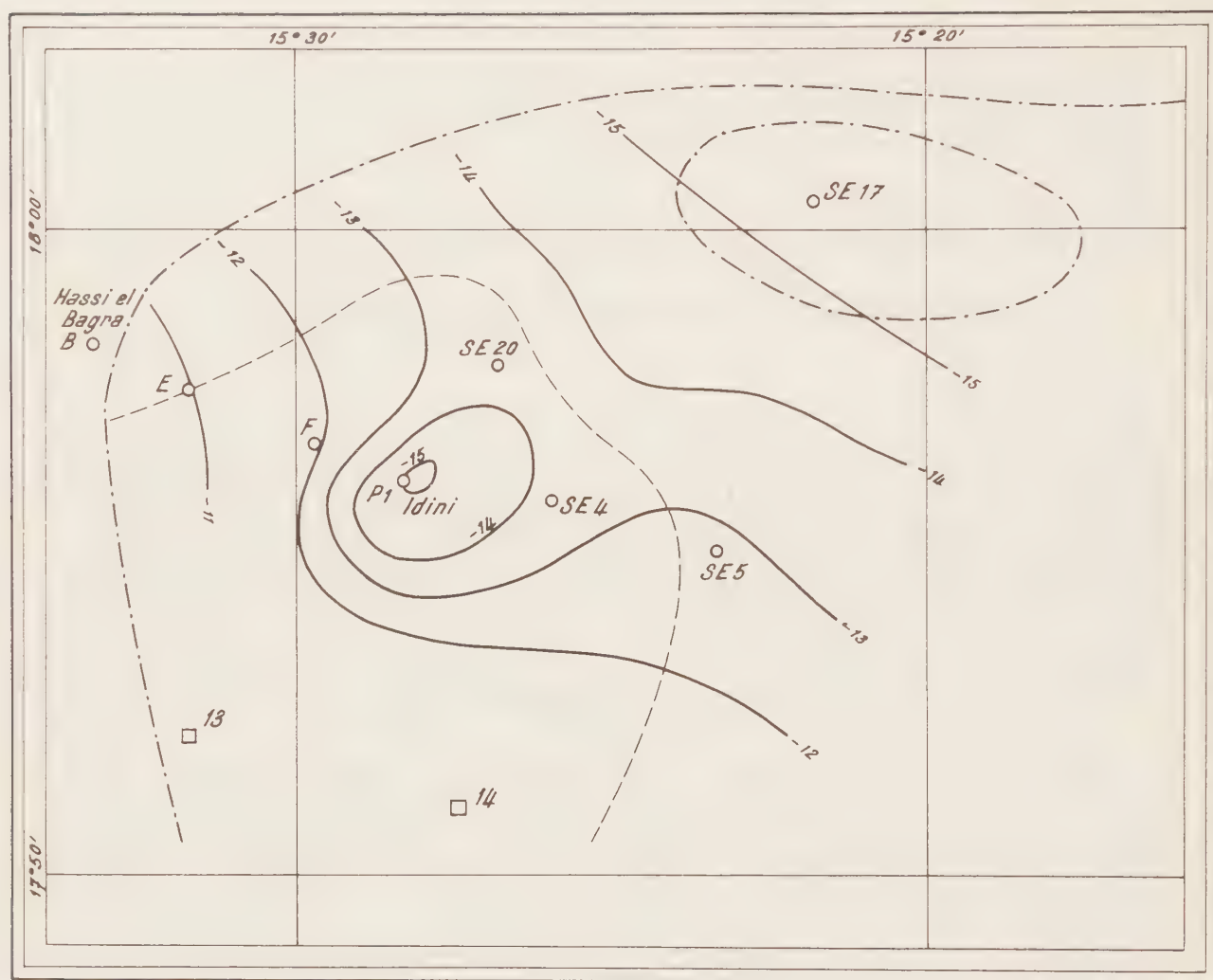
HYPOTHÈSES DE CONSTRUCTION

Nous avons été amené à concevoir la nappe phréatique et la nappe sub-phréatique comme des différenciations locales de la nappe générale du Trarza. Dans ces conditions il est logique de penser qu'elles sont à peu près en équilibre hydrostatique, sauf naturellement en ce qui concerne l'influence des pompages d'Idini. La présence à Hassi el Bagra d'ouvrages à la nappe phréatique nous a permis de constater qu'au moins en ce point, et à la précision des mesures près, il en était bien ainsi.

Dès lors qu'on accepte cette hypothèse, on peut également admettre que la nappe sub-phréatique aurait, en l'absence des pompages, une forme définie par l'allure générale des isohypses dans cette partie du Trarza. Il y a là un élargissement de l'hypothèse précédente, cette allure générale des isohypses, telle qu'elle apparaît sur la carte de H. PALOC [16] (orientation *grosso modo* N.NW-S.SE), pouvant ne pas tenir compte de variations locales de la forme de la surface piézométrique. En fait nous sommes ainsi amené à transposer au 1/200 000 des résultats obtenus par interpolation sur une carte au 1 500 000. Cette façon de faire réduit considérablement la valeur de nos conclusions, mais elle est la seule qui nous ait permis d'obtenir une figuration à peu près cohérente.

Nous avons donc admis que la surface piézométrique actuelle de la nappe sub-phréatique d'Idini se construisait par la superposition du cône de pompage de la station d'exploitation à une nappe cylindrique de pente générale dirigée du S.SW vers le N.NE. On obtient dans ces conditions la figure 15*.

(*) Les deux cônes causés par les forages F1 et F2 d'Idini (niveau voisin de -17 m) n'ont pu être représentés à l'échelle utilisée.



-12 / Courbe isopièze et sa cote
 --- / Périmètre d'emprunt actuel
 - - - / Limite de la nappe douce

E ○ / Ouvrage existant
 14 □ / Sondage électrique et son numéro

Echelle: 1/200.000
 5 0 5 km

FIG. 15.
 CARTE PIÉZOMÉTRIQUE DE LA NAPPE D'IDINI

LA FORME DE LA NAPPE

L'influence des pompages apparaît comme très importante, comme il était logique de s'y attendre dans le cas d'une nappe captive. Elle se marque en particulier par l'importante inflexion vers le S.SW des courbes —13 et —12 m. Il est d'ailleurs vraisemblable que la courbe —11 m, si nous étions en mesure de la construire avec suffisamment de certitude, présenterait une allure analogue. Le dédoublement de la courbe —15 est également un signe de l'importance de la dépression causée par les pompages.

La carte montre en outre de quelle façon, si nos hypothèses ont quelque valeur, se fait l'alimentation des captages. La zone salée située au Nord et au Nord-Est d'Idini reste en dehors du périmètre d'emprunt. Même la région d'Hassi el Bagra semble ne pas être affectée par l'appel d'eau vers Idini. En revanche cet appel se fait sentir en direction du Sud Ouest et du Sud, zones dont nous ignorons malheureusement tout, les bases sur lesquelles a été conduite l'étude étant très différentes des conclusions auxquelles nous aboutissons actuellement.

Une objection toutefois doit être faite ici à notre façon de voir. Lors des essais effectués sur le sondage de reconnaissance d'Idini, le niveau aquifère a été trouvé voisin de —12,50 m. Cette valeur s'intègre mal dans la carte, si on élimine par la pensée le cône dû aux pompages. Ce niveau se trouve en effet à près de 1 m au-dessous de ce que suggérerait l'allure générale des isohypses dans leur partie non influencée. Peut-être s'agit-il là d'un exemple des éventuelles variations locales auxquelles nous avons fait allusion plus haut. Nous serions en effet amené à admettre qu'une certaine inflexion des courbes préexistait aux pompages, ce qui tendrait à attribuer à ces derniers une influence moindre. Il est certain que nous sommes là en plein domaine des hypothèses, et que les données dont nous disposons sont insuffisantes pour trancher la question. Seules des observations sur une longue période d'exploitation pourront montrer si la nappe évolue d'une manière en accord avec notre interprétation, puisque aussi bien il est illusoire de s'attendre à voir se multiplier le nombre des points d'observation.

LES CARACTÉRISTIQUES CHIMIQUES DE LA NAPPE SUB-PHRÉATIQUE

LES CAPTAGES D'IDINI

L'eau prélevée dans la nappe sub-phréatique lors des essais effectués dans le sondage de reconnaissance d'Idini avait un résidu sec de l'ordre de 300 mg/l. Ce fut d'ailleurs là un des points déterminants pour le choix de la couche à capter, la nappe phréatique présentant au même endroit une salure trois fois plus forte (1 000 mg/l).

Les analyses des échantillons prélevés mensuellement au cours de la surveillance menée par le B.R.G.M. montrent une faible variabilité de la salure de l'eau dans le temps, ainsi qu'une différence assez constante entre les deux ouvrages, comme le montre le tableau ci-dessous :

Résidu sec en mg/l			
	minimal	moyen	maximal
Forage F 1	215	350	410
Forage F 2	245	300	350

A partir de 1963, la surveillance périodique a été interrompue et les analyses récentes sont plus rares. Celles dont nous disposons montrent toujours une légère variabilité, l'eau restant cependant toujours remarquablement douce. Six analyses effectuées entre janvier 1963 et octobre 1964 donnent les résultats suivants :

Résidu sec en mg/l			
	minimal	moyen	maximal
Forage F 1	256	333	356
Forage F 2	310	277	324

Les analyses ont été effectuées au Laboratoire de chimie des eaux de la Direction du S.S.G.M. Dakar sous le contrôle de M^{me} B. Martinet, Chef du Groupe Laboratoire.

LES OUVRAGES DE RECONNAISSANCE

Outre les deux forages d'Idini, nous disposons actuellement de 13 ouvrages pour étudier la salure de l'eau de la nappe sub-phréatique. Ce sont les 11 piézomètres qui forment la ligne W-E d'Hassi el Bagra à SE 5, et les 2 piézomètres SE 20 et SE 17.

Avant de passer à l'étude détaillée des caractères chimiques de l'eau, la considération des seuls résidus secs nous paraît mériter quelque intérêt. Le tableau ci-dessous en donne les valeurs. Pour les ouvrages de la ligne Hassi el Bagra-SE 5, les distances sont données d'Ouest en Est à partir du piézomètre A.

Nom de l'ouvrage	Distance en mètres	Résidu Sec en mg l
Piezomètre A	0	3 172
Piezomètre B	400	2 292
Piezomètre C	636	2 100
Piezomètre FS 3	830	1 485
Piezomètre FS 2	952	1 060
Piezomètre FS 1	1 172	710
Piezomètre D	1 414	490
Piezomètre E	3 040	372
Piezomètre F	6 740	680
Forage F 1	9 940	350 (moyenne)
Forage F 2	—	300 (moyenne)
Piezomètre SE 4	13 800	198
Piezomètre SE 5	18 000 (environ)	274
Piezomètre SE 20		950
Piezomètre SE 17		3 670

On peut tout de suite faire les constatations suivantes :

— A l'exception du piézomètre F, sur lequel nous reviendrons tout de suite, on observe une décroissance continue de la salure le long de la ligne A-SE 4. Il s'agit là constamment d'ouvrages où la nappe sub-phréatique est bien individualisée, et bien isolée de la nappe phréatique.

— La salure augmente à nouveau de SE 4 à SE 5. En même temps elle présente une élévation exceptionnelle au piézomètre F. Dans les deux cas, au contraire du cas précédent, l'isolement dont nous venons de parler n'existe pas. La « couche d'argile » est interrompue et remplacée par des sables argileux en F, et nous avons vu qu'en SE 5 la distinction des deux nappes perd peut-être son sens. On peut donc concevoir que l'augmentation de salure en ces deux points provient de percolations à partir de la nappe phréatique, dont on sait qu'elle est, dans cette région, plus salée que la nappe sub-phréatique.

— La décroissance de la salure est beaucoup plus forte au voisinage d'Hassi el Bagra que le long du reste de la ligne de sondages :

2 682 mg/l de A à D distance 1 414 m

174 mg/l de E à SE 4 distance 10 760 m

Ceci est en rapport avec le fait, établi par l'étude géophysique, que nous nous trouvons, à Hassi el Bagra, sur la bordure de la nappe douce.

— Les piézomètres SE 20 et SE 17, implantés sur des anomalies de résistivité reconnues par la géophysique, présentent des salures élevées. Dans les deux cas la coupe de l'aquifère sub-phréatique est anormalement argileuse. C'est également le cas du piézomètre A et comme nous le verrons au chapitre traitant du problème du « front salé », nous pensons que ces deux faits sont en relation.

LES CARACTÈRES CHIMIQUES DES EAUX

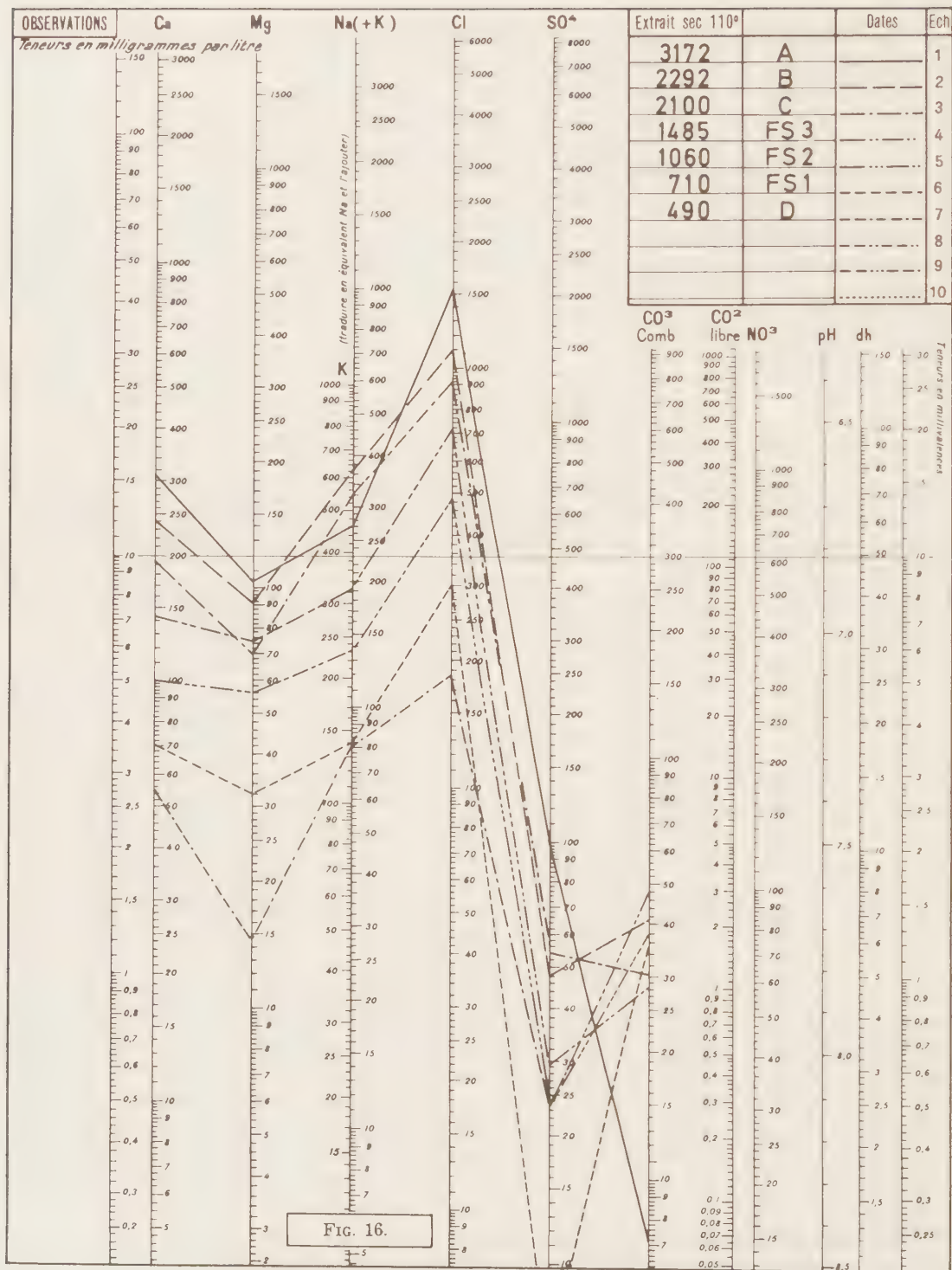
Toutes ces eaux sont essentiellement chlorurées sodiques. Une faible proportion de potassium s'adjoint au sodium, et nous en traiterons ensemble. Les autres ions, sulfate, carbonate, calcium, magnésium, sont présents en proportions variables. Le fluor est absent, ou présent en très faible quantité.

Le tableau ci-dessous donne, mieux que toute description, une idée des valeurs, absolues et relatives, des différentes concentrations (concentrations en milliéquivalents) :

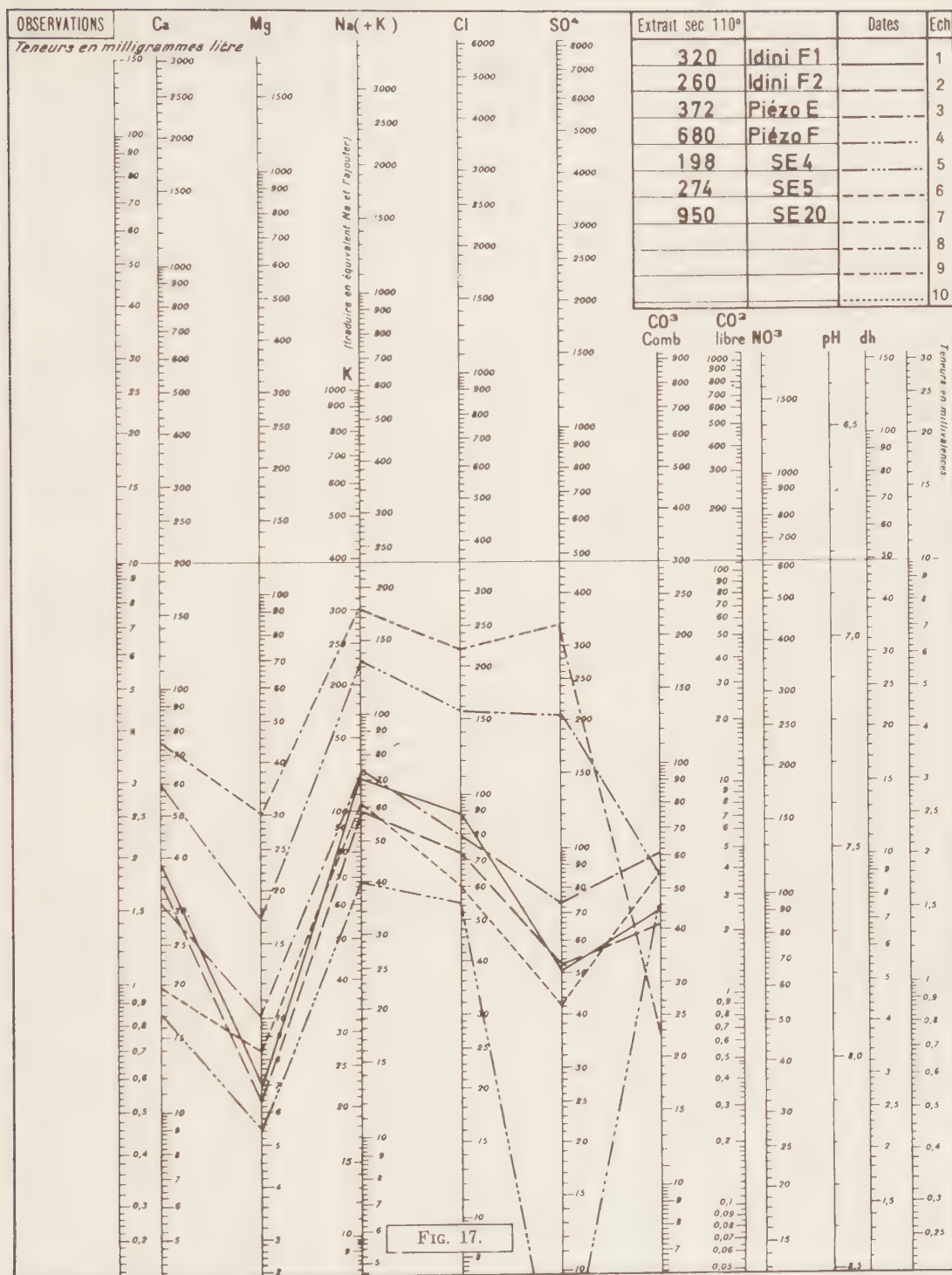
	Ca	Mg	Na+K	Cl	SO ₄	CO ₃	i.e.b.	rSO ₄	rCa	rMg
								rCl	rNa+K	rCa
A	15,6	8,6	11,7	42	2,1	0,16	+ 0,72	0,05	1,33	0,55
B	12	7,7	16	31	1	1,35	+ 0,48	0,03	0,75	0,64
C	9,5	5,8	14	26	1,1	1	+ 0,46	0,04	0,67	0,61
FS 3	7,2	6,2	8,3	20,2	0,6	1,6	+ 0,59	0,03	0,87	0,86
FS 2	5	4,6	6	13,9	0,48	1,3	+ 0,56	0,03	0,83	0,92
FS 1	3,52	2,72	3,67	8,52	0,12	1,2	+ 0,51	0,01	0,96	0,77
D	2,75	1,2	3,6	5,3	0,49	1,6	+ 0,32	0,08	0,76	0,44
E	1,58	0,83	3,25	2,3	1,55	2	— 0,41	0,67	0,48	0,52
F	2,95	1,45	5,8	4,5	4,4	1,75	— 0,29	0,98	0,50	0,49
F 1	1,9	0,56	3	2,5	1,05	1,5	— 0,20	0,42	0,63	0,29
F 2	1,75	0,53	2,55	2,05	1,12	1,4	— 0,24	0,54	0,68	0,30
SE 4	0,84	0,45	1,72	1,55	0,1	1,5	— 0,11	0,06	0,49	0,53
SE 5	0,98	0,69	2,7	1,7	0,88	1,8	— 0,58	0,52	0,36	0,70
SE 20	3,7	2,5	7,7	6,2	7,1	0,76	— 0,24	1,14	0,48	0,67
SE 17	0,45	0,15	62	38	6,6	15	— 0,63	0,17	0,007	0,33

Ce tableau montre nettement que :

— le long de la ligne A-SE 5, deux groupes d'ouvrages se distinguent. Les eaux du premier groupe, de A à D, ont un indice d'échange des bases positif, un très faible rapport



DIAGRAMMES D'ANALYSES DES EAUX DE LA ZONE DE TRANSITION



DIAGRAMMES D'ANALYSES DES EAUX DE LA NAPPE DOUCE

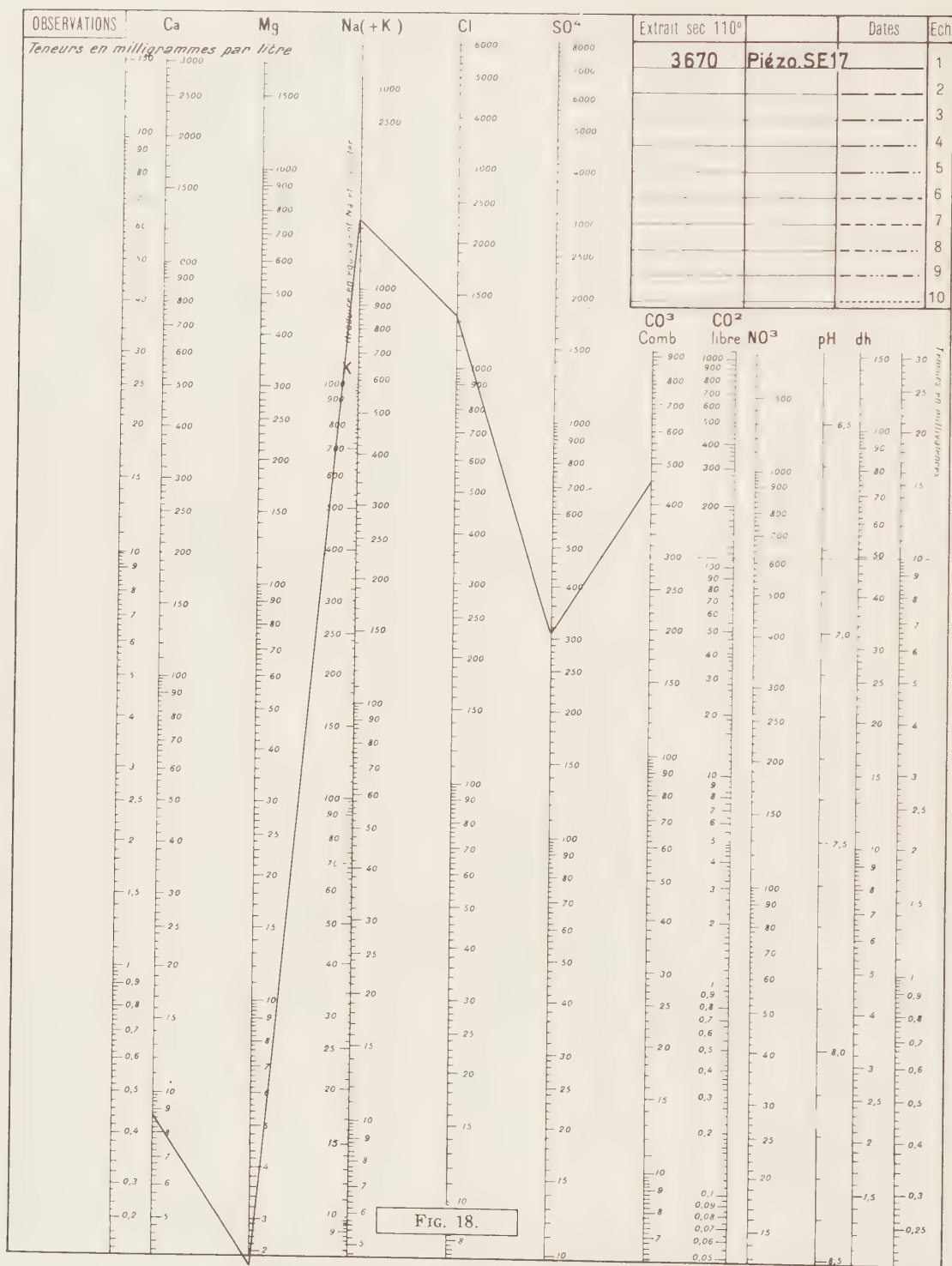


DIAGRAMME D'ANALYSE D'EAU DU PIÉZOMÈTRE SE 17

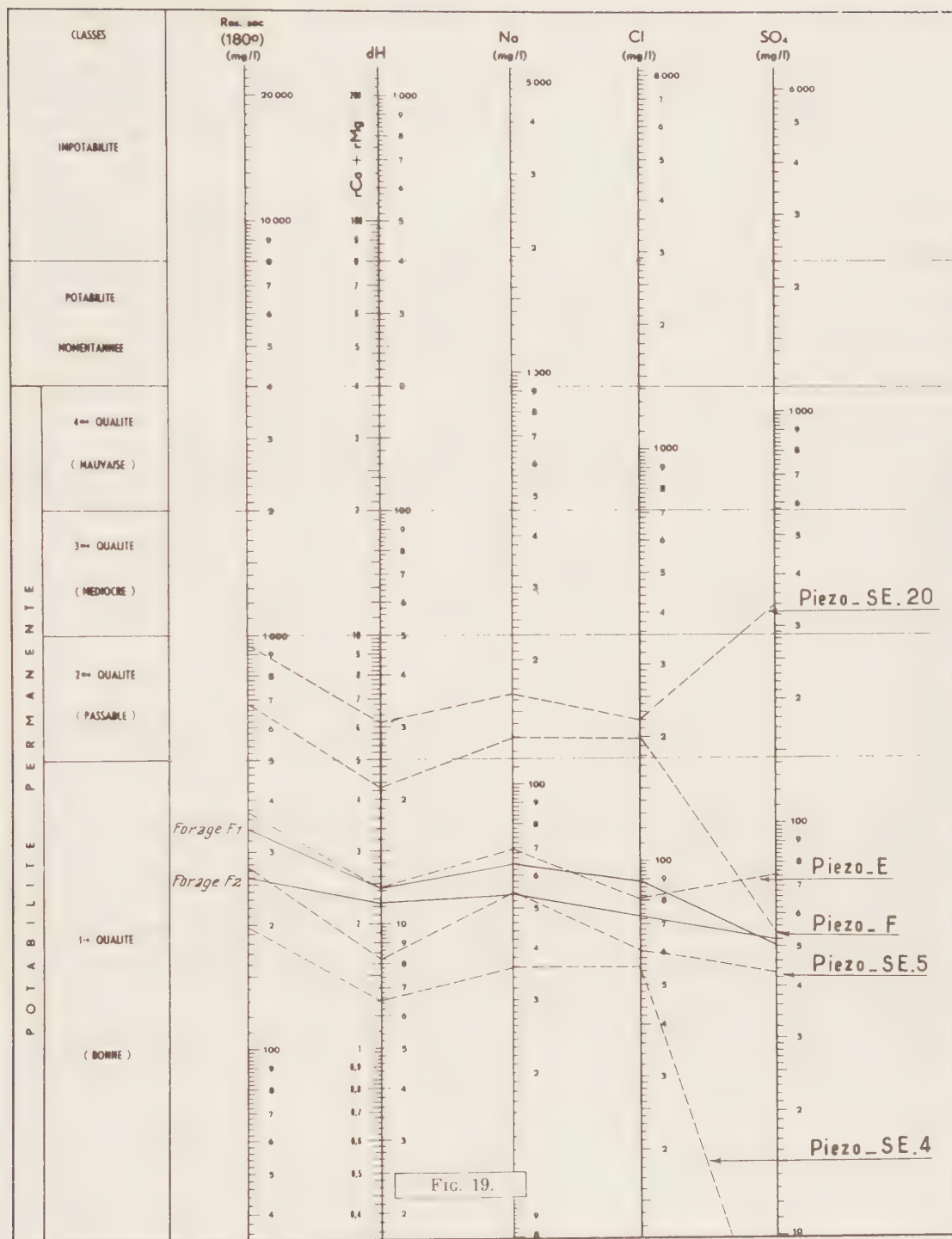


DIAGRAMME DE POTABILITÉ DES EAUX DE LA NAPPE DOUCE

des concentrations en sulfate et en chlore, et des rapports de concentrations en calcium et en alcalins d'une part, en magnésium et en calcium d'autre part, relativement élevés. Les eaux du second groupe, de E à SE 5, par contre, ont un indice d'échange des bases négatif, un rapport des concentrations en sulfate et en chlore élevé (à l'exception toutefois de SE 4), et des rapports de concentration en calcium et en alcalins, ainsi qu'en magnésium et en calcium plus faibles en moyenne que dans le premier cas.

Ceci est à rapprocher des considérations que nous avons développées plus haut sur les variations du résidu sec. Les ouvrages du premier groupe appartiennent à la frange saumâtre de la bordure de la nappe douce; ceux du second groupe à la nappe douce elle-même;

— l'élévation relative de salure du piézomètre F est surtout causée par l'augmentation de la concentration en sulfate, qui atteint presque la valeur de celle du chlore. Par tous ses autres caractères, cet ouvrage, nonobstant sa salure élevée, appartient à la nappe douce;

— il en va de même du piézomètre anomal SE 20. Dans ce cas la teneur en sulfate en arrive même à dépasser celle du chlore;

— l'eau du piézomètre SE 17 présente des caractères ambigus. Par sa forte salure et son faible rapport rSO_4/rCl , elle s'apparente aux eaux de la frange saumâtre, mais elle présente un indice d'échange des bases négatif (c'est même le plus faible de tous) et un rapport rMg/rCa assez faible, comme les eaux de nappe douce. Enfin une particularité notable en est la très faible teneur en calcium.

La traduction en diagrammes logarithmiques verticaux du type SCHOELLER-BERKALOFF, de ces résultats d'analyses permet naturellement de retrouver toutes ces conclusions. Elle présente surtout l'intérêt de faire voir du premier coup d'œil les ressemblances, ou au contraire les dissemblances, qui existent entre ces eaux (fig. 16 à 18).

POTABILITÉ DES EAUX D'IDINI

Nous avons évoqué au premier paragraphe de ce chapitre la permanence de la potabilité des eaux des deux captages d'Idini.

Nous pouvons également remarquer qu'à l'exception de F et de SE 20, qui représentent d'ailleurs des anomalies de faible importance, tous les ouvrages de la nappe douce ont une eau qui, selon les critères de H. SCHOELLER, est de première qualité (potabilité bonne).

Nous noterons même que le dernier piézomètre de la frange saumâtre, le piézomètre D, a une eau de première qualité, selon les mêmes critères.

Le diagramme de la figure 19 résume ces considérations.

LE PROBLÈME DU FRONT SALÉ

Nous avons fait à plusieurs reprises allusion au « front salé ». Nous sommes en état maintenant d'étudier ce que recouvre cette notion, mais auparavant il est nécessaire de faire un historique de cette question.

L'ANCIENNE CONCEPTION DU FRONT SALÉ

Nous avons vu que la localisation de la première reconnaissance à Hassi el Bagra avait été faite sur les indications d'une campagne de géophysique effectuée en 1956-57. Cette étude avait couvert de sondages électriques en grande ligne une bonne partie du bassin sédimentaire Sénégal-Mauritanien. Il s'agissait là d'une reconnaissance très large, et les renseignements qu'elle a fournis manquent forcément de précision.

En Mauritanie il a été mis en évidence l'existence de deux domaines, l'un vers l'Est où les terrains du Continental Terminal présentaient des résistivités fortes, et où l'on connaissait la présence d'eaux douces, l'autre vers l'Ouest où les résistivités étaient faibles et où les rares points d'eau présentaient une certaine salure. La ligne de séparation de ces deux domaines courait parallèlement au rivage, à une distance de celui-ci de l'ordre de 40 à 50 km. En possession de ces seuls éléments, il était logique de faire appel à l'idée d'une invasion marine pour expliquer cette disposition.

La première reconnaissance par sondages à Hassi el Bagra n'a pas fourni d'éléments permettant de rectifier cette façon de voir. Elle a montré qu'il n'existait pas d'interface au sens classique du terme, mais les auteurs ont cru pouvoir mettre en évidence, dans la tranche de terrain testée, une diminution de salure progressive d'Ouest en Est et de bas en haut. En appelant conventionnellement « front salé » la surface le long de laquelle la salure était égale à 500 mg/l (limite admise pour la potabilité), ils ont cru pouvoir établir que ce front se situait un peu à l'Est d'Hassi el Bagra, et présentait une pente de 1 % vers l'Est.

NOUVEAUX ÉLÉMENTS D'APPRÉCIATION

Nous savons maintenant que la reconnaissance que nous venons d'évoquer n'avait reconnu que la seule nappe phréatique et, qui plus est, en un seul point. Disons tout de suite que l'approfondissement du forage d'Hassi el Bagra n'aurait pas fourni d'élément nouveau, puisque, conformément au schéma admis, la salure de la nappe sub-phréatique en ce point est effectivement supérieure à celle de la nappe phréatique. (2 300 mg/l contre 1 200).

Une étude plus poussée de la nappe phréatique montre cependant que les variations de salure y sont beaucoup plus lentes qu'on ne l'avait pensé. A Idini, à 10 km à l'Est d'Hassi el Bagra, le résidu sec de l'eau est encore de 900 à 1 000 mg/l, et il faut s'éloigner encore de 20 à 30 km d'Idini vers l'Est pour trouver des puits dont l'eau ne contient plus que 300 mg/l.

Des variations aussi progressives et aussi lentes ne peuvent être considérées comme responsables de la définition par la géophysique d'une limite nette passant par Hassi el Bagra. Or si l'on peut, pour l'étude de 1956-57, invoquer le manque de précision, la reconnaissance par sondages électriques effectuée en liaison avec nos propres études, faite à une maille beaucoup plus petite que la première, a cependant mis en évidence une discontinuité nette de résistivité, qui passe à peu près par Hassi el Bagra.

En outre nous avons vu au chapitre précédent que la salure de l'eau de la nappe sub-phréatique présente en cet endroit des variations qui, bien que progressives, sont beaucoup plus brutales. En moins de 1 500 m le résidu sec de l'eau passe de 3 172 mg/l (piézomètre A) à 490 mg/l (piézomètre D).

Nous pouvons conclure de ce qui précède que le « front salé » est une caractéristique de la nappe sub-phréatique, et non de la nappe phréatique.

CARACTÈRE DU « FRONT SALÉ » A HASSI EL BAGRA

Les points qui nous paraissent essentiels pour une meilleure compréhension des phénomènes que nous étudions sont les suivants.

— Nulle part il n'a été rencontré d'eaux à proprement parler « salées ». Le résidu sec maximal observé dans le piézomètre A, n'atteint même pas 3,5 g/l. Nous sommes loin des 35 g/l de l'eau de mer, et nous ne pouvons parler que d'eaux « saumâtres ».

— Il n'existe pas à Hassi el Bagra d'interface au sens classique du terme, c'est-à-dire de zone de faible épaisseur mettant en contact des eaux douces et des eaux de forte charge chimique. Au contraire, on constate une diminution progressive de la salure d'Ouest en Est, et comme nous l'avons vu plus haut, il faut près de 1 500 m pour passer de 3 172 à 490 mg/l.

— Un graphique construit en portant en abscisses les distances, et en ordonnées les salures, montre que cette décroissance de la salure se fait selon une courbe qui rappelle l'intégrale de GAUSS (fig. 20).

— L'eau la plus chargée (piézomètre A) a son gisement en un point où l'aquifère sub-phréatique est extrêmement argileux. Au contraire la décroissance de la salure s'observe dans des ouvrages forés dans des sables.

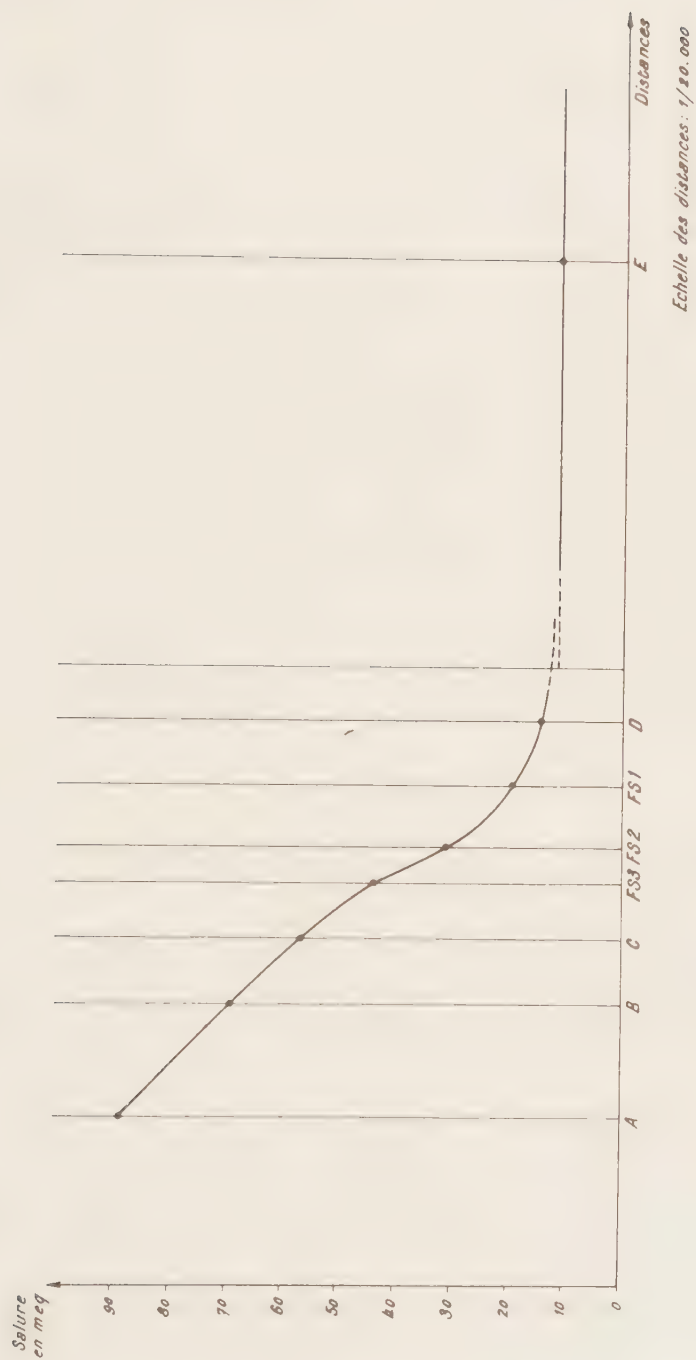


FIG. 20.

DIAGRAMME DE RÉPARTITION SPATIALE DES SALURES
DANS LA RÉGION D'HASSI EL BAGRA

— Enfin, comme nous l'avons vu au chapitre précédent, les eaux de cette zone se distinguent de celles de la nappe douce par leurs caractères chimiques, et en particulier par leur indice d'échange de bases qui est positif, et non négatif.

L'IDÉE D'INVASION MARINE

Les caractères du « front salé » dont nous venons de faire état ne s'accordent guère avec l'image classique du front d'invasion marine tel qu'il se manifeste dans les aquifères côtiers. D'autres arguments vont dans le même sens.

— Les fronts d'envahissement par l'eau de mer s'observent à une distance relativement faible du littoral. Or Hassi el Bagra se trouve à plus de 50 km des côtes.

— En prenant les hypothèses les plus favorables à une invasion marine, c'est-à-dire en admettant que tous les terrains qui séparent Hassi el Bagra de la mer ont une perméabilité égale au maximum observé dans cette région ($K = 1,5 \text{ m/h}$), et que le gradient de la nappe a toujours été le même (niveau de l'eau voisin de -10 m à Hassi el Bagra, à 50 km de la mer), nous en déduisons une vitesse possible et maximale d'avancée du front de $2,63 \text{ m/an}$. Le temps nécessaire à l'eau de mer pour atteindre Hassi el Bagra aurait donc été voisin de 19 000 ans. Ceci est incompatible avec ce que l'on croit savoir de la genèse de la nappe du Trarza qui doit s'être formée au Flandrien, soit il y a environ 8 000 ans.

Nous sommes ainsi amené à rejeter l'idée d'une invasion marine actuelle, et à rechercher l'origine du sel dans une caractéristique locale de l'aquifère. Notons toutefois que, si en un point donné nous disons que le sel doit avoir une source locale, l'explication proposée devra cependant avoir une valeur générale puisque le même phénomène s'observe du Nord au Sud sur tout le bassin sédimentaire.

ÉLÉMENTS DE RÉOLUTION DU PROBLÈME

Il nous a été donné de constater que chaque fois que l'aquifère sub-phréatique se charge en argile, il s'ensuit une élévation de la salure de l'eau. Nous avons certes vu qu'à Hassi el Bagra, ainsi qu'au piézomètre F, des eaux chargées peuvent se trouver dans des sables non argileux, mais par contre nous n'avons jamais reconnu de zone argileuse où l'eau soit douce.

Lors de l'étude de la nappe de Bennichab, dans l'Inchiri, M. GRAVOST (14) a remarqué que l'élévation de salure de l'eau à la limite de la nappe douce était souvent liée à une augmentation de la teneur en argile des terrains aquifères.

L'étude de la nappe du Tirersioum par J. PUTALLAZ (18) a établi également une élévation de la salure concomitante à une augmentation de la teneur en argile vers l'Ouest (SE 7).

L'analyse de la coupe du sondage de Montounsi, foré dans l'Aftout es Saheli, semble indiquer que les terrains du Continental Terminal sont beaucoup plus argileux dans la zone côtière que dans l'intérieur du Trarza.

CONCLUSION

Il nous paraît logique de penser que la source locale du sel doit être recherchée dans les argiles. La considération des résultats fournis par le piézomètre SE 17, et surtout par le piézomètre SE 20, encore plus complètement isolé au sein de la nappe douce, nous semble apporter un argument très fort en faveur de cette conception. Il ne peut en effet être question dans ces deux cas d'une invasion marine.

On pourra cependant nous objecter que les caractères chimiques des eaux de ces deux ouvrages présentent certains traits qui les rapprochent davantage des eaux de la nappe douce que de celles de la zone saumâtre d'Hassi el Bagra. En particulier l'indice d'échange des bases en est négatif, et non positif. La salure des eaux de ces piézomètres pourrait donc ne pas être un argument en faveur de l'origine locale du « front salé ». Nous pensons qu'une autre explication peut être trouvée à ces disparités. Nous y reviendrons au paragraphe suivant.

En tout état de cause, l'attribution de l'origine de la salure à la présence locale de zones argileuses ne soulève pas les objections que nous avons opposées à l'hypothèse d'une invasion marine actuelle. Elle ne reste pas pour autant un phénomène local, puisqu'il semble que la même explication puisse être valable tout le long des bordures occidentales des nappes douces du Continental Terminal.

Dans l'état actuel de nos connaissances, nous ne pouvons concevoir que la frange saumâtre qui borde la nappe douce d'Idini soit explicable par une invasion marine, et par contre la seule hypothèse qui nous paraisse admissible est que le sel provient des zones particulièrement argileuses de l'aquifère sub-phréatique.

L'ORIGINE DU SEL

Ayant admis que le sel provient des zones argileuses nous n'avons pas pour autant résolu le problème de l'origine de ce sel. On voit mal en effet pourquoi ces argiles d'origine continentale devraient forcément être plus salées que les sables qui leur sont voisins. En outre on connaît, dans les terrains du Continental Terminal, des formations particulièrement argileuses qui contiennent de l'eau douce. C'est le cas par exemple des grès argileux qui constituent le mur de la nappe sub-phréatique, dans lesquels les essais de nappes effectués sur le sondage de reconnaissance d'Idini ont révélé la présence d'eaux à moins de 300 et même de 150 mg/l de résidu sec. Il nous est donc nécessaire d'expliquer pourquoi les zones argileuses de l'aquifère sub-phréatique sont salées.

Nous pouvons invoquer à ce propos plusieurs hypothèses :

— On peut penser que, au moment du remplissage des terrains lors de la dernière période pluviale africaine, l'écoulement se faisait de façon normale vers la mer. Les eaux pouvaient alors percoler à travers ces zones argileuses, supposées non salées initialement, et y abandonner une partie de leurs sels, du fait du pouvoir adsorbant de ces argiles. Mais dans ces conditions on comprend mal pourquoi il existe une telle différence de salure entre la nappe douce et la frange saumâtre (pratiquement du simple au décuple). On s'attendrait plutôt

à trouver dans la nappe douce elle-même une salure croissante vers l'Ouest avec, en bordure de la nappe, des valeurs du résidu sec peu différentes de celles que l'on rencontre dans la frange saumâtre.

Ce que l'on sait sur l'importance de la montée capillaire dans les milieux de faible perméabilité nous conduit à considérer la possibilité d'une ascension capillaire plus grande dans les zones argileuses que dans les zones sableuses, avec, en corollaire, une évaporation plus forte entraînant une élévation de la salure. Dans cette optique, les eaux des zones argileuses auraient eu à l'origine une salure comparable à celle des zones sableuses. Les différences de concentration relative des divers ions pourraient être alors rapportées aux différences de pouvoir adsorbant des argiles, qui interviendraient concomitamment à l'évaporation pour modifier la composition chimique de l'eau.

— Si l'hypothèse d'une invasion marine actuelle ne nous semble pas soutenable, nous ne pouvons pour autant rejeter l'hypothèse que le sel soit le témoin d'une invasion ancienne. P. ELOUARD a montré (13) que la transgression inchrénienne s'est fait sentir extrêmement loin vers l'Est dans le Guébla mauritanien. L'amplitude de cette transgression ($-35 + 30$ m) indique qu'à cette époque (Tyrrhénien) la région d'Idini devait se trouver sous les eaux. En conséquence les terrains du Continental Terminal devaient être imprégnés d'eau de mer. Lors de la régression ultérieure, l'eau aurait abandonné ces terrains, ne laissant rien ou presque rien dans les sables, tandis que les argiles auraient retenu une partie du sel, soit sous forme adsorbée, soit en solution dans l'eau d'imbibition. Le retour, après la période très aride de la formation des dunes rouges, à des conditions climatiques humides lors de la transgression ouljienne, puis au Flandrien, aurait permis la formation de la nappe du Trarza, l'eau des précipitations restant douce dans les sables où elle ne trouvait rien, ou presque rien, à dissoudre, et se chargeant en sels dans les zones argileuses.

Cette troisième hypothèse nous semble actuellement la plus logique et la plus cohérente. Elle s'accorde bien avec ce que l'on sait de l'histoire du Quaternaire mauritanien, et on ne peut lui opposer les objections qui limitent la validité des deux premières.

LA FORMATION DE LA FRANGE SAUMÂTRE

Il est possible de se représenter la formation de la frange salée comme le résultat des phénomènes qui ont affecté la nappe depuis l'époque de sa formation.

Il est en effet logique de penser qu'à cette époque, la nappe ne présentait pas la forme en cuvette que nous lui connaissons actuellement. Nous pouvons donc supposer que la zone sableuse d'Hassi el Bagra actuellement occupée par des eaux saumâtres était alors remplie d'eau douce. Nous avons montré par ailleurs que la formation des nappes en creux est un problème très délicat (12), et il ne nous est pas possible d'en discuter ici. On peut néanmoins penser qu'au fur et à mesure de cette formation, les eaux saumâtres de la zone argileuse ont été mises en mouvement, et se sont déplacées vers les sables voisins.

Selon SCHEIDEGGER (19), le phénomène d'écoulement de phases miscibles en milieu poreux est représenté par l'intégrale d'erreur de GAUSS. Nous avons vu que le graphique salures-distances, à Hassi el Bagra, présente une forme voisine de celle de cette intégrale. En l'absence d'autres preuves d'un déplacement effectif, cette remarque nous semble fournir une bonne présomption en faveur de cette interprétation.

Il est permis de penser que le caractère positif de l'indice d'échange de bases des eaux de la frange saumâtre est en relation avec un tel déplacement. Les ouvrages SE 17 et SE 20 ayant été forés en plein cœur des zones argileuses correspondantes, et non sur leur frange, il serait alors permis de penser qu'elles n'ont pas connu une mise en mouvement analogue. Ceci peut paraître en contradiction avec nos considérations sur la forme de la surface piézométrique de la nappe, mais nous rappellerons ici le caractère quelque peu aléatoire de ces considérations.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Il n'est absolument pas indifférent du point de vue pratique de se prononcer en faveur de telle ou telle hypothèse pour expliquer l'origine des eaux saumâtres qui bordent la nappe douce. Il est certain en effet que la sécurité de l'exploitation d'Idini n'est pas la même si l'on envisage le « front salé » comme un véritable front d'invasion marine, ou au contraire conformément à nos hypothèses.

Certes la valeur assez faible de la vitesse de déplacement de l'eau que nous avons été amené à calculer, rendrait peu probable l'envahissement des captages par l'eau de mer à brève échéance. Il ne faut cependant pas oublier que les pompes auraient pour conséquence une accélération du mouvement de l'eau, et que d'autre part l'hypothèse d'une invasion marine actuelle porterait à penser à la présence non loin d'Hassi el Bagra d'eaux beaucoup plus chargées que celles qui y ont été rencontrées.

Au contraire, notre façon de voir implique la présence d'eaux assez peu chargées, et qui se trouvent dans un milieu de faible perméabilité. La mobilisation de ces eaux sous l'influence des pompes restera donc, selon toute vraisemblance, toujours assez faible, et le mélange d'eaux saumâtres en petite quantité avec les eaux de la nappe douce ne devrait pas compromettre l'approvisionnement de Nouakchott.

LES RÉSERVES DE LA NAPPE D'IDINI

La quantité d'eau contenue dans le Continental Terminal du Trarza est considérable. Les éléments nécessaires pour en donner une estimation précise font défaut, mais elle doit être de plusieurs dizaines de milliards de mètres cubes.

Il est cependant malaisé de parler des réserves de la nappe d'Idini, en ce sens qu'il ne s'agit pas là d'une nappe définie, limitée, mais simplement d'un secteur, assez réduit d'ailleurs, de la nappe générale du Trarza. En outre on a le loisir de ne considérer que la seule nappe subphréatique, là du moins où elle est bien individualisée, aussi bien que de chercher à estimer la quantité totale d'eau contenue dans le Continental Terminal.

Le problème est plus aisé à considérer en termes pratiques. Dans la situation actuelle, les seules ressources qui présentent un intérêt réel sont celles qui peuvent être exploitées en vue de l'alimentation en eau de Nouakchott. C'est de l'évaluation de ces seules ressources que nous traiterons ici.

LES BESOINS DE LA VILLE DE NOUAKCHOTT

Une étude du Bureau Central d'Equipement Outre-Mer (BCEOM) a cherché à évaluer la progression des besoins de l'alimentation en eau de Nouakchott, dans un avenir prévisible.

Compte tenu de la croissance de la population de l'agglomération, et de l'augmentation des besoins individuels, il a été calculé que les besoins croîtront régulièrement jusqu'à atteindre une valeur voisine de 9 000 m³/j en 1990. Au total, jusqu'à cette date, 55 millions de m³ d'eau devront avoir été mis à la disposition de la ville. C'est là le chiffre qui nous a été donné comme base pour notre travail et c'est sur lui que nous devons nous fonder.

DÉFINITION DES RÉSERVES

Il est certain que le dispositif de captage actuel d'Idini n'est pas en mesure de fournir 9 000 m³/j, et qu'il sera tôt ou tard nécessaire de l'agrandir. Il ne semble cependant pas

que l'on puisse le déplacer considérablement. L'allongement des canalisations, la construction de nouvelles installations, occasionneraient des frais supplémentaires non justifiés.

Nous devons donc considérer comme réserves possibles, celles que sont susceptibles de capter les deux forages existants.

La zone contenant ces ressources est limitée par le périmètre d'emprunt que nous avons dessiné sur la carte piézométrique (v. fig. 15) à l'Est et au Nord, par le « front salé » à l'Ouest. Au Sud nous ne pouvons évidemment définir une limite, mais nous pensons sage de nous limiter à une ligne passant par les sondages électriques 13 et 14.

Nous allons donc chercher à évaluer la quantité d'eau contenue à l'intérieur du périmètre ainsi défini, et susceptible d'être relâchée par la nappe sub-phréatique.

Nous remarquerons qu'au fur et à mesure de l'exploitation, on peut assez logiquement s'attendre à voir cette zone s'étendre par déplacement du périmètre d'emprunt. Nous prenons ainsi dans notre évaluation une marge de sécurité.

CALCUL DES RÉSERVES

La surface que nous avons définie au paragraphe précédent couvre environ 180 millions de m² (180 km²).

Nous prendrons pour épaisseur moyenne de l'aquifère 20 m, étant entendu que la diminution de puissance constatée à Idini, et surtout vers le Nord, est compensée par l'augmentation qui se manifeste vers l'Est et vers le Sud.

La quantité d'eau mobilisable dans les conditions de nappe captive est très mal connue. Un aquifère libre composé des mêmes sables que l'aquifère sub-phréatique aurait une porosité efficace de l'ordre de 10 %. Nous pensons prendre une marge de sécurité raisonnable en ramenant ici ce paramètre à 5 %.

Dans ces conditions la quantité d'eau mobilisable est de 180 millions de m³.

On voit donc que, même si certaines de nos hypothèses sont un peu forcées, la zone susceptible de fournir de l'eau aux captages d'Idini contient des réserves bien supérieures aux besoins exprimés de Nouakchott.

L'ALIMENTATION DE LA NAPPE D'IDINI

La question de l'alimentation de la nappe d'Idini, et plus largement de celle de la nappe du Trarza, est extrêmement complexe. Nous ne prétendons en aucune mesure la résoudre, les éléments nous faisant défaut pour cela. Notre propos est simplement de fournir quelques indications propres à faciliter la réflexion.

ALIMENTATION PAR LES PLUIES

On admet généralement (cf. J. ARCHAMBAULT (3)), qu'en Afrique Occidentale aucune alimentation de nappes importantes par les pluies n'est possible en-dessous d'une pluviosité annuelle moyenne de 400 mm. Les seules exceptions à cette règle sont le fait de nappes relativement peu étendues et dans des zones où se rencontrent des conditions de ruissellement et d'écoulement particulières (nappes d'underflow d'oueds, alimentées par les crues).

La pluviosité moyenne annuelle de la région d'Idini atteignant au plus 150 mm, l'alimentation directe par les pluies semble exclue. En général les pluies mouillent superficiellement le sable des dunes ou le tarrouz des gouds, et cette humidité est rapidement reprise par l'évaporation et l'évapotranspiration.

En outre le bon isolement de la nappe sub-phréatique fait que même dans le cas d'une infiltration de l'eau de pluie, il est vraisemblable que cette eau ne parviendrait qu'à la nappe phréatique.

Nous sommes donc porté à penser que les pluies ne participent pas à l'alimentation de la nappe sub-phréatique d'Idini.

AUTRES SOURCES D'ALIMENTATION

La question de l'alimentation de la nappe du Trarza par la crue du Fleuve Sénégal et de ses défluents est actuellement *sub judice*. Elle peut à tout le moins être controversée. Quoi

qu'il en soit, Idini se trouvant à plus de 100 km du point le plus proche de la zone d'inondation, le temps nécessaire à l'écoulement de l'eau infiltrée jusqu'à ce point serait de plusieurs dizaines de milliers d'années. Comme nous avons été amené à admettre que la nappe du Trarza s'est formée il y a environ 8 000 ans, nous pensons pouvoir exclure l'hypothèse de l'alimentation par le Fleuve Sénégal.

Il en va de même en ce qui concerne l'alimentation par le ruissellement des précipitations sur la bordure orientale du Bassin sédimentaire. Cette zone est distante d'Idini d'environ 200 km, et en outre le dessin des isohypses de la nappe du Trarza et de la nappe du Brakna semblent indiquer un écoulement vers un point situé au NE d'Idini.

CONCLUSION

Nous sommes donc amené à considérer que la nappe du Trarza, dans la région d'Idini, est une nappe fossile, privée d'alimentation actuelle.

Nous ne pouvons cependant rejeter complètement la possibilité d'alimentation par des phénomènes discrets ou mal connus (précipitations occultes, alimentation par les précipitations à la faveur de la présence de vapeur dans le sol...). Des études supplémentaires seraient nécessaires pour éclairer quelque peu ce problème, en particulier des mesures de l'humidité du sol, et des mesures d'âge absolu de l'eau de la nappe.

Le manque de connaissances dans ce domaine d'une part, et la faible précision de nos évaluations d'autre part, nous empêchent absolument de tenir compte d'une quelconque alimentation dans le calcul des réserves. Au mieux, c'est-à-dire s'il y a une alimentation de la nappe, celle-ci nous fournit une marge de sécurité supplémentaire.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Au terme de cet exposé, un certain nombre de conclusions peuvent être dégagées, tant en ce qui concerne les résultats obtenus et l'image qu'ils nous donnent de l'hydrogéologie de la région d'Idini, qu'en ce qui touche aux points demeurés obscurs, et aux défauts qu'a pu présenter notre étude. Il ne nous paraît pas utile de revenir sur tous les points que nous avons traités, et ces conclusions générales prendront plutôt l'aspect de réflexions sur la valeur de notre travail.

L'HYDROGÉOLOGIE DE LA RÉGION D'IDINI

Il était possible de se demander, avant la réalisation de nos études, si elles présentaient réellement un intérêt en rapport avec les dépenses qu'elles devaient entraîner. Les premiers travaux avaient conduit à une image des conditions de gisement de la nappe dont il était évident qu'elle simplifiait quelque peu la réalité puisqu'elle soulevait des problèmes qui n'avaient pas reçu de réponse. Cependant rien n'établissait a priori qu'elle fût fausse, ou qu'elle dût être considérablement remaniée. A l'opposé de cette façon de voir on pouvait craindre que les terrains fussent à ce point hétérogènes que le programme que nous avions proposé se révélât, malgré son importance, insuffisant pour permettre d'y voir clair.

Nous pensons avoir montré que ce genre de craintes n'était pas fondé. D'une part nous avons été amené à rejeter la façon de voir des premiers chercheurs qui n'avaient pas poussé assez loin leurs investigations. D'autre part l'homogénéité des terrains a été telle que nous avons pu bâtir un schéma de l'hydrogéologie de la région qui, s'il simplifie encore certainement les choses, n'a guère de chances d'être remis en question dans ses grandes lignes.

a) La distinction des deux nappes, phréatique et sub-phréatique, n'est pas absolue. Le cas du piézomètre F' le montre clairement. Elle n'a sans doute qu'une valeur régionale, comme le laisse supposer la coupe du piézomètre SE 5. Nous pouvons cependant penser avec une bonne probabilité qu'elle est valable dans toute la région étudiée. Un trop grand nombre de forages a rencontré une telle disposition pour qu'on puisse la considérer comme accidentelle. Par ailleurs les résultats de l'étude géophysique, comparés avec ce que l'on sait de la salure de la nappe phréatique, montrent bien, dans les limites de cette étude, l'existence d'un corps aquifère doux, différent de cette dernière nappe.

b) La limite occidentale des eaux douces mise en évidence par l'étude de 1956-57 et précisée par l'étude géophysique contemporaine de nos propres travaux (6 et 7) ne peut caractériser la nappe phréatique. Il s'agit là d'un trait propre à l'aquifère sub-phréatique, et elle correspond à un caractère particulier de cet aquifère.

c) L'interprétation de cette limite comme un front d'invasion marine se heurte à des difficultés trop importantes pour que nous puissions encore l'accepter. Dans l'état actuel de nos connaissances, l'explication que nous avons proposée apparaît comme la plus probable, et la mieux en rapport avec les faits.

LES PROBLÈMES EN SUSPENS

On pourra, à juste titre, faire à notre travail une double série de reproches :

a) Il y a un certain nombre de méthodes d'investigation que nous n'avons pas utilisées, et qui auraient pu apporter des précisions sur certains points encore obscurs. Ce sont par exemple les études sédimentologiques qui, en précisant les conditions de dépôt, tant des sables que des argiles, auraient pu nous fournir d'autres éléments de compréhension de la géologie de la région. De la même façon regrettera-t-on peut-être que des mesures d'âge des eaux ne soient pas venu étayer nos conclusions relatives à la formation de la nappe du Trarza et à la nature du « front salé ».

Il est certain que de telles méthodes auraient mérité d'être employées. Nous pensons même que, si des études sont ultérieurement entreprises sur les problèmes que nous avons examinés, il sera nécessaire d'y faire appel. Nous noterons simplement qu'elles dépassaient quelque peu le cadre du travail qui nous avait été confié, et que, du fait des arguments directs ou indirects dont nous pouvions faire état, la nécessité ne nous en est pas toujours apparue clairement.

On regrettera également, et nous sommes le premier à le faire, le manque de renseignements sur la zone située au SW d'Idini, qui participe de façon importante à l'alimentation des captages. Ceci résulte de l'orientation prise au départ par les travaux, du fait des conceptions anciennes sur lesquelles nous nous sommes basé. Il était par la suite hors de question de procéder à l'étude de cette zone.

b) D'un autre côté on pourra se demander jusqu'à quel point certaines des extrapolations que nous avons faites sont valables. Pour certaines d'entre elles (valeur régionale de la distinction des deux nappes, salure de la nappe phréatique, signification du « front salé »), nous pensons avoir marqué avec assez de netteté leurs limites de validité. Il est par exemple certain que d'autres anomalies, analogues à celles du piézomètre F ou du piézomètre SE 20, peuvent exister sans que nous ayons été à même de les mettre en évidence. Ceci d'ailleurs nous semble d'une importance assez faible. En tous cas il ne pourrait être question de les observer, à moins de travaux d'un coût incompatible avec la valeur des renseignements qu'ils fourniraient.

Pour d'autres extrapolations, et en particulier pour la généralisation à tout le bassin sédimentaire mauritanien de notre interprétation du « front salé », nous serons beaucoup plus prudent. Il s'agit là plutôt d'une hypothèse interprétative que d'une interprétation proprement dite. Il était hors de notre possibilité d'approcher davantage un tel problème. Toute notre ambition dans ce domaine serait de proposer à d'autres chercheurs une hypothèse de travail pour l'avenir. Nous serions très heureux de la voir supportée par d'autres travaux. Nous serions le premier à l'abandonner si elle venait à être réfutée.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Agence pour la sécurité de la navigation aérienne en Afrique et à Madagascar. Résumé mensuel des observations météorologiques.
- [2] 1950. ARCHAMBAULT J. — Eléments pour un équipement hydraulique de la Basse-Mauritanie. *BURGEAP R. 123*, février 1950, Paris.
- [3] 1960. ARCHAMBAULT J. — Les eaux souterraines de l'Afrique Occidentale. Imprimerie Berger-Levrault, Nancy.
- [4] 1954. BOULTON N.S. — Unsteady radial flow to a pumped well allowing for delayed yield from storage. *A.I.H.S. Congrès de Rome*.
- [5] 1958. Bureau de coordination des études hydrauliques. Alimentation en eau de Nouakchott et Port Etienne. Rapport sur les recherches et essais effectués dans le voisinage de ces deux villes. *Arch. Bur. Coord. Etudes Hydr.*, Dakar.
- [6] 1958. Compagnie Générale de Géophysique. Reconnaissances hydrologiques et structurales par sondages électriques au Sénégal, en Mauritanie et en Casamance. Paris.
- [7] 1964. Compagnie Générale de Géophysique. Etude par sondages électriques dans la région d'Idini. Dakar.
- [8] 1963. DEPAGNE J. — Alimentation en eau de Nouakchott. Recherches de ressources nouvelles. Synthèse des observations de la nappe d'Idini et programme de reconnaissance proposé. *Rapport B.R.G.M. DAK. 63 A 2*, Dakar, *Arch. Service Hydraulique R.I.M.*
- [9] 1964. DEPAGNE J. — Alimentation en eau de Nouakchott. Reconnaissance hydrogéologique dans la région d'Idini. Janvier-juin 1964. *Rapport B.R.G.M. DAK. 64 A 20*. Dakar, *Arch. Service Hydraulique R.I.M.*
- [10] 1965. DEPAGNE J. — Alimentation en eau de Nouakchott. Reconnaissance hydrogéologique dans la région d'Idini. Travaux complémentaires. Novembre-décembre 1964. *Rapport B.R.G.M. DAK. 65 A 11*. Dakar, *Arch. Service Hydraulique R.I.M.*
- [11] 1965. DEPAGNE J. — Etude de la frange de transition entre les eaux douces et les eaux saumâtres sur la bordure de la nappe d'Idini (Mauritanie). *Rapport B.R.G.M. DAK. 65 A 12*. Dakar, *Arch. Service Hydraulique R.I.M.*

- [12] 1965. DEPAGNE J. — Les nappes déprimées d'Afrique Occidentale. Communication présentée au *Congrès AIH*. Hanovre, septembre 1965.
- [13] 1959. ELOUARD P. — Etude géologique et hydrogéologique des formations sédimentaires du Guébila Mauritanien et de la Vallée du Sénégal. Thèse de doctorat ès-sciences, Université de Paris, juin 1959. *Mém. B.R.G.M., Fr. N° 7*, 1962, Paris.
- [14] 1965. GRAVOST M. — Reconnaissance hydrogéologique de la nappe de Bennichab. *Rapport B.R.G.M. DAK. 65 A 6* Dakar, *Arch. Service Hydraulique R.I.M.*
- [15] 1938. JACQUET F. — Les grandes lignes de l'hydrologie mauritanienne. *Bull. Serv. Mines A.O.F.* Dakar. N° 1, p. 5 à 10.
- [16] 1965. MARCELLIN J. — Etude de la série d'Akjoujt dans l'Inchiri. (Campagne 1963-64). *Rapport B.R.G.M. DAK. 65 A 9*. Dakar, *Arch. Service Mines R.I.M.*
- [17] 1962. PALOC H. — Carte hydrogéologique du Bassin Sud-Ouest Mauritanien au 1/500 000 et Notice Explicative. *Publication B.R.G.M., Arch. Direction du Plan R.I.M.*
- [18] 1963. PUTALLAZ J. et al. — Alimentation en eau de Port Etienne. Etudes hydrogéologiques des nappes du Tirersioum. *Rapport B.R.G.M. DAK. 63 A 8*. Dakar, *Arch. Service Hydraulique R.I.M.*
- [19] 1957. SCHEIDEGGER A. E. — On the theory of flow of miscible phases in porous media. *AIHS*, Toronto.

TABLE DES FIGURES

	Pages
FIG. 1. — Carte de la Mauritanie occidentale (Ech. 1/6 000 000)	6
FIG. 2. — Plan général de situation (Ech. 1/300 000)	12-13
FIG. 3. — Log de sondage de SE 4 profond	25-26
FIG. 4. — Coupe générale des terrains selon le profil Hassi el Bagra-Idini-SE 5	32-33
FIG. 5. — Coupe détaillée des niveaux supérieurs du Continental Terminal dans la région d'Hassi el Bagra	32-33
FIG. 6. — Carte des isohypses du mur de l'aquifère sub-phréatique	36
FIG. 7. — Carte des isohypses du toit de l'aquifère sub-phréatique	37
FIG. 8. — Carte des isopaches de l'aquifère sub-phréatique	38
FIG. 9. — Bloc-diagramme éclaté de l'aquifère sub-phréatique. Vue du Sud vers le Nord	39
FIG. 10. — Bloc-diagramme éclaté de l'aquifère sub-phréatique. Vue du Nord vers le Sud	40
FIG. 11. — Diagramme semi-logarithmique de la descente et de la remontée du forage F1 en avril 1962	43
FIG. 12. — Diagramme semi-logarithmique de la descente du piézomètre FS3 le 25 février 1965	44
FIG. 13. — Diagramme logarithmique de la descente du piézomètre FS3 le 25 fé- vrier 1965	45
FIG. 14. — Enregistrement de la remontée et de la redescente du piézomètre FS2 le 1 ^{er} février 1965	46-47
FIG. 15. — Carte piézométrique de la nappe d'Idini (Ech. 1/200 000)	50
FIG. 16. — Diagramme d'analyses des eaux de la zone de transition	56
FIG. 17. — Diagramme d'analyses des eaux de la nappe douce	57
FIG. 18. — Diagramme d'analyse d'eau du piézomètre SE 17	58
FIG. 19. — Diagramme de potabilité des eaux de la nappe douce	59
FIG. 20. — Diagramme de répartition spatiale des salures dans la région d'Hassi el Bagra	62-63

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE	3
Avant-propos	5
INTRODUCTION	7
Climat	8
Végétation	8
Ethnographie et économie	8
Aperçu géologique d'ensemble	9
Aperçu hydrogéologique d'ensemble	9
HISTORIQUE DES ÉTUDES EFFECTUÉES SUR LA NAPPE D'IDINI	11
Le problème de Nouakchott	11
Première reconnaissance	12
Mise en exploitation de la nappe	12
Nouveaux besoins - Définition d'un programme d'étude	13
Première campagne d'étude	14
Seconde campagne d'étude - Travaux complémentaires	14
LES MÉTHODES UTILISÉES	17
La Géophysique	17
Les sondages	17
Crépines de matière plastique	18
Mesures des niveaux d'eau	19
Précision et validité des conclusions	19
NOMENCLATURE ET CARACTÉRISTIQUES DES OUVRAGES	21
Chronologie des ouvrages	21
Situation géographique	22
Caractéristiques des ouvrages	22

	1° Localisation et époque de réalisation	22
	2° Altitude, profondeur et diamètres caractéristiques	23
4	3° Crépinage, gravillonnage, développement	24
LA COUPE STRATIGRAPHIQUE DANS LA RÉGION D'IDINI		25
	1. Le socle ancien	25
	2. Le Maestrichtien	25
6	3. Le Paléocène	26
	4. L'Eocène inférieur	26
	5. Le Lutétien	26
	6. Le Continental Terminal	26
	7. Le Quaternaire	27
L'EAU DANS LES TERRAINS ANTÉRIEURS AU CONTINENTAL TERMINAL		29
	Eocène et Paléocène	29
	Maestrichtien	29
L'EAU DANS LES FORMATIONS DU CONTINENTAL TERMINAL		31
	Les sables aquifères	32
	La couche intermédiaire d'argile	32
	Conclusion	33
LES CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES DE L'AQUIFÈRE SUB-PHRÉATIQUE		35
LES CARACTÉRISTIQUES HYDRAULIQUES DE L'AQUIFÈRE SUB-PHRÉATIQUE		41
	Les essais effectués sur la nappe sub-phréatique	41
	Résultats des essais	46
	Remarque sur la conduite des essais	46
	Validité des déterminations	48
	Transmissivité et perméabilité	48
	Coefficient d'emmagasinement	48
LA FORME DE LA NAPPE SUB-PHRÉATIQUE		49
	Hypothèses de construction	49
	La forme de la nappe	51
LES CARACTÉRISTIQUES CHIMIQUES DE LA NAPPE SUB-PHRÉATIQUE		53
	Les captages d'Idini	53
	Les ouvrages de reconnaissance	54
	Les caractères chimiques des eaux	55
	Potabilité des eaux d'Idini	60
LE PROBLÈME DU FRONT SALÉ		61

L'ancienne conception du front salé	61
Nouveaux éléments d'appréciation	62
Caractère du « front salé » à Hassi el Bagra	62
L'idée d'invasion marine	63
Eléments de résolution du problème	63
Conclusion	64
L'origine du sel	64
La formation de la frange saumâtre	65
Conclusion	66
LES RÉSERVES DE LA NAPPE D'IDINI	67
Les besoins de la ville de Nouakchott	67
Définition des réserves	67
Calcul des réserves	68
L'ALIMENTATION DE LA NAPPE D'IDINI	69
Alimentation par les pluies	69
Autres sources d'alimentation	69
Conclusion	70
CONCLUSIONS GÉNÉRALES	71
L'hydrogéologie de la région d'Idini	71
Les problèmes en suspens	72
BIBLIOGRAPHIE	73
Table des Figures	75

IMPRIMERIE LOUIS-JEAN - GAP

Dépôt légal n° 214 - 1967

DEUXIÈME THÈSE

Proposition donnée par la Faculté :

Technique d'étude des mouvements d'un front salé en bordure aquifère côtier

VU ET APPROUVÉ :

Nancy, le 2 décembre 1965.

Le Doyen de la Faculté des Sciences :
J. AUBRY.

VU ET PERMIS D'IMPRIMER :

Nancy, le 7 décembre 1965.

Le Recteur,
Président du Conseil de l'Université :
P. IMBS.

